



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

SLEDOVÁNÍ ÚČINNOSTI VYBRANÝCH FILTRAČNÍCH MATERIÁLŮ NA ODSTRAŇOVÁNÍ ŽELEZA A MANGANU Z VODY

MONITORING THE EFFECTIVENESS OF SELECTED FILTER MATERIALS ON REMOVING IRON AND MANGANESE FROM WATER

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. ILONA ŠEVČÍKOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RENATA BIELA, Ph.D.

BRNO 2016




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

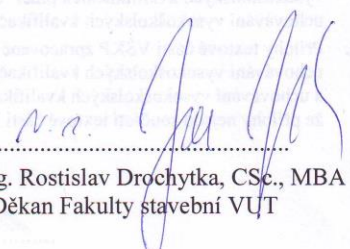
Studijní program N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant Bc. Ilona Ševčíková
Název Sledování účinnosti vybraných filtračních materiálů na odstraňování železa a manganu z vody
Vedoucí diplomové práce Ing. Renata Biela, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce 31. 3. 2015
Datum odevzdání diplomové práce 15. 1. 2016

V Brně dne 31. 3. 2015


doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu


prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT



Podklady a literatura

- [1] CRITTENDEN, John, et al. Water Treatment: Principles and Design. 2nd Edition. John Wiley and Sons, 2005. 1948 p. ISBN 0-471-11018-3.
- [2] FERRANTE, M.; OLIVERI CONTI G.; RASIC-MILUTINOVIC Z.; JOVANOVIĆ D. Health Effects of Metals and Related Substances in Drinking Water, 1st Edition. IWA Publishing, 2014. 126 p. ISBN 978-1-78040-597-1.
- [3] TUHOVČÁK, Ladislav, et al. Vodárenství: Studijní opory. 1. vydání. Brno: VUT FAST, 2006. 252 s.
- [4] GRÜNWARD, Alexander. Zdravotně inženýrské stavby 40: Úprava vody. 1. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. 103 s. ISBN 80-01-01658-7.
- [5] MALÝ, J.; MALÁ, J. Chemie a technologie vody. 2. doplněné vydání. Brno: Ardec s.r.o., 2006. 329 s. ISBN 80-86020-50-9.
- [6] BIELA, Renata. Odstraňování železa a manganu ze zdrojů pitné vody. TZB- info, 2012, roč. 14., č. 48, s. 1-6. ISSN 1801-4399.
- [7] BARLOKOVÁ, D.; ILLAVSKÝ, J.; MOLNÁR, T.; HANUSOVÁ A. Filtralite ako náhrada preparovaného filtračného piesku v úprave vody (odstraňovanie Fe a Mn v UV Kúty). In Nové trendy v oblasti úpravy pitnej vody. 1. vydání. Bratislava: VodaTím s.r.o., 2014. s. 133-142. ISBN: 978-80-971272-2-0.
- [8] Odborné články ze sborníků konferencí a seminářů.

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

V úvodní části diplomové práce budou popsány možnosti odstraňování železa a manganu z vody, v praktické části pak bude provedeno laboratorní sledování účinnosti odstraňování železa a manganu z vody na nejnovějších sorpčních materiálech, jako jsou Greensand, Birm a Semidol.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



Ing. Renata Biela, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá problematikou odstraňování železa a manganu z vody. První část práce pojednává o formách výskytu železa a manganu ve vodách, vlivu železa a manganu na zdraví člověka, možnostech odstraňování železa a manganu z vody. Podrobněji je popsána kontaktní filtrace a materiály, které se ke kontaktnímu odželezování a odmanganování využívají. Ve druhé části práce je popsáno využívání filtračních materiálů Birm, Greensand a Semidol v praxi a popis experimentálního odstranění železa a manganu pomocí těchto materiálů.

ABSTRACT

This thesis describes possibilities removal of iron and manganese from the water. The first part of the thesis describes the sources and forms of iron and manganese in water, the health limits and possibilities removal of iron and manganese from the water. Contact filtration and materials used for contact removing of iron and manganese are described in more detail. The second part describes using materials Birm, Greensand and Semidol in practise. There i also described the experimental removing of iron and manganese by these three materials.

KLÍČOVÁ SLOVA

Odstraňování železa a manganu z vody, kontaktní filtrace, Birm, Greensand, Semidol

KEYWORDS

Removal of iron and manganese from drinking water sources, contact filtration, Birm, Greensand, Semidol

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

ŠEVČÍKOVÁ, Ilona. *Sledování účinnosti vybraných filtračních materiálů na odstraňování železa a manganu z vody*. Brno, 2016. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Vedoucí práce Renata Biela.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15. 1. 2016

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala paní Ing. Renatě Biele, Ph.D. za vedení diplomové práce a dále spolužákům Bc. Jiřímu Konečnému za pomoc při laboratorním experimentu a Bc. Jiřímu Plhákovi za zprostředkování exkurze na úpravnu vody Sudslava.

OBSAH

1	ÚVOD.....	3
2	FORMY VÝSKYTU ŽELEZA VE VODÁCH	5
3	FORMY VÝSKYTU MANGANU VE VODÁCH	6
4	VLIV ŽELEZA A MANGANU NA ZDRAVÍ ČLOVĚKA	7
4.1	Vliv železa na zdraví člověka	7
4.2	Vliv manganu na zdraví člověka.....	8
5	MOŽNOSTI ODSTRAŇOVÁNÍ ŽELEZA A MANGANU Z VODY	11
5.1	Odželezování a odmanganování provzdušňováním	11
5.2	Odželezování a odmanganování oxidačními činidly	17
5.3	Kontaktní odželezování a odmanganování	19
5.3.1	Birm	19
5.3.2	Greensand Plus	21
5.3.3	Polovypálený dolomitický vápenec HD (Semidol).....	22
5.3.4	Cullorsorb M (Pyrolusit).....	23
5.4	Další způsoby odželezování a odmanganování	24
5.4.1	Odželezování a odmanganování alkalizací	24
5.4.2	Odmanganování pískovou filtrací	24
5.4.3	Odželezování v horninovém prostředí	24
5.4.4	Odželezování iontovou výměnou	25
5.4.5	Odželezování a odmanganování koagulací	25
5.4.6	Odželezování a odmanganování biologickou cestou	25
6	VYUŽITÍ FILTRAČNÍCH MATERIÁLŮ BIRM, GREENSAND A SEMIDOL V PRAXI	27
6.1	Využití filtračního materiálu Greensand	28
6.1.1	Úpravna vody Vysoké Pole	28
6.1.2	Úpravna vody Pamětník.....	32
6.1.3	Úpravna vody Třtice	34
6.1.4	Úpravna vody Řitka	35
6.1.5	Úpravna vody Věžnice.....	35
6.2	Využití filtračního materiálu Birm.....	35
6.2.1	Úpravna vody Sudslava	35
6.3	Využití filtračního materiálu Semidol.....	38
6.3.1	Úpravna vody Rožnov pod Radhoštěm	38
7	EXPERIMENTÁLNÍ ODSTRANĚNÍ ŽELEZA A MANGANU	40

7.1	Účel experimentu	40
7.2	Postup měření.....	40
7.2.1	Popis filtračního zařízení	40
7.2.2	Příprava filtračních kolon	42
7.2.3	Stanovení experimentálních parametrů.....	46
7.2.4	Filtrace	47
7.2.5	Měření výsledků	50
7.3	Výsledky rozborů vody.....	55
8	ZÁVĚR	59
9	POUŽITÁ LITERATURA.....	61
	SEZNAM TABULEK	63
	SEZNAM OBRÁZKŮ	64
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	66
	SUMMARY	67

1 ÚVOD

Sloučeniny železa a manganu ve vodách jsou problémem jak z hlediska technologického, tak z hlediska chuťových vlastností vody. Podzemní vody s vyšším obsahem železa a manganu způsobují poruchy v provozech vodovodů – vytvářejí nežádoucí inkrustace, které zmenšují průtočné profily. [1]

Železo přítomné ve vodách způsobuje především technické závady tím, že materiály, se kterými přichází do styku (textilie, papír, keramické materiály, potraviny), zbarvuje žlutě až hnědě. Z hygienického hlediska ovlivňuje negativně organoleptické vlastnosti vody, a to barvu, chuť a zákal. Negativně ovlivňovat chuť vody a způsobovat její zákal mohou již koncentrace železa nad $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$. I malé koncentrace Fe^{II} ve vodě mohou být příčinou nadměrného rozvoje železitých bakterií, které pak ucpávají potrubí a při jejichž odumírání voda zapáchá. Z uvedených důvodů je mezní hodnota železa v pitné vodě $0,2 \text{ mg.l}^{-1}$. [8]

Nejrozšířenější železnou rudou je pyrit FeS_2 ; po něm následuje krevet Fe_2O_3 , magnetovec Fe_3O_4 , limonit $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ a siderit FeCO_3 . Železo je v malém množství obsaženo také v řadě přírodních hlinitokřemičitanů. Pouhým rozpouštěním uvedených látek, aniž by docházelo k chemickým reakcím, se vody obohacují železem jen málo. Rozpouštění napomáhá přítomnost oxidu uhličitého a huminových látek (komplexace). Mimořádně vysoké koncentrace železa lze najít ve vodách obsahujících kyselinu sírovou, která vznikla oxidací sulfidických rud. V mechanismu oxidace pyritu a jiných sulfidických rud se uplatňují jak chemické, tak i biochemické procesy. Biochemická oxidace probíhá za přítomnosti chemolitotrofních mikrobů *Thiobacillus* nebo *Ferrobacillus*. [8]

Antropogenním zdrojem železa v přírodních a užitkových vodách mohou být některé průmyslové odpadní vody (např. z mořiren, válcoven, drátoven) a korozní procesy ve vodovodním potrubí. [8]

Mangan je v koncentracích vyskytujících se v přírodních vodách zdravotně nezávadný. Významně však ovlivňuje organoleptické vlastnosti vody, a to více než železo. V koncentraci větší než $0,3 \text{ mg.l}^{-1}$ může již nepříznivě ovlivnit chuť vody a nerozpuštěné vyšší oxidační formy manganu mohou hnědě zbarvovat materiály přicházející s takovou vodou do styku. Proto je koncentrace manganu v pitné vodě a v provozních vodách používaných v potravinářském, textilním a papírenském průmyslu, v prádelnách a ve škrobárnách poměrně přísně limitována. [8]

Obdobně jako u železa se kromě chemické oxidace manganu ve vodách významně uplatňuje i jeho biochemická oxidace manganovými bakteriemi. K rychlé biochemické oxidaci dochází již v neutrálním prostředí. Nadměrný rozvoj manganových bakterií může být příčinou zarůstání vodovodního potrubí jejich biomasou, což je další důvod pro omezení jeho koncentrace ve vodách dopravovaných potrubím. Z tohoto pohledu je mangan škodlivější než železo a jeho nejvyšší přípustné koncentrace jsou proto nižší než u železa. [8]

V požadavcích na jakost pitné vody je uvedena mezní hodnota pro mangan $0,05 \text{ mg.l}^{-1}$. Tato koncentrace vyhovuje většině požadavků na jakost provozních vod. Obsah manganu nad $0,05 \text{ mg.l}^{-1}$ může být problémem zejména při výrobě papíru či v textilním průmyslu. Stejně jako u železa může i mangan narušit některé technologické procesy, např. v barvárnách nebo bělárnách, kde katalyzuje rozklad peroxidu vodíku. [8]

Mangan doprovází obvykle železné rudy. Z manganových rud se v přírodě vyskytuje zejména burel či pyroluzit (MnO_2), braunit (Mn_2O_3), hausmanit (Mn_3O_4), manganit [MnO(OH)] a dialogit (MnCO_3). Mangan přechází do vod také z půd a sedimentů. Antropogenními zdroji

manganu mohou být některé průmyslové odpadní vody, např. ze zpracování rud, z metalurgických závodů a z chemických provozů, kde se oxiduje manganistanem draselným (např. při výrobě sacharinu). [8]

Způsob, jakým jsou železo a mangan z vody odstraňovány, závisí na tom, v jaké formě jsou tyto prvky ve vodě obsaženy. Železo se může ve vodě vyskytovat ve dvojmocné formě nebo ve formě trojmocné jako hydroxid železitý. Mangan se ve vodě vyskytuje většinou spolu se železem. V důsledku redukčního prostředí je zastoupen výhradně ve formě dvojmocné. Pouze výjimečně se v povrchových vodách vyskytuje jako čtyřmocný nerozpustný oxid manganičitý. [2]

Během procesu odželezování a odmanganování se železo a mangan převádí z rozpustné formy na formu nerozpustnou. Rovnováha mezi rozpustnou a nerozpustnou formou závisí na pH, oxidačně-redukčním potenciálu, teplotě a složení vody. Aby se železo odstranilo dokonale, je často potřeba dávkovat alkalizační činidlo. [2]

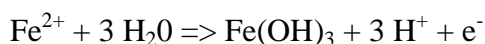
2 FORMY VÝSKYTU ŽELEZA VE VODÁCH

Železo se může ve vodě vyskytovat ve formě rozpuštěné nebo nerozpuštěné, což závisí na pH, oxidačně-redukčním potenciálu a přítomnosti komplexotvorných látek. V prostých podzemních vodách je Fe(II) zastoupeno hydratovanými ionty Fe^{2+} , případně také formou FeOH^+ . V alkalickém prostředí se vyskytují i asociáty $\text{Fe}(\text{OH})_{2/\text{aq}}$ a $\text{Fe}(\text{OH})_3$. V oxickém prostředí zastupují formu Fe(III) ionty Fe^{3+} , $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, $\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}$ a $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$. Při odželezování je nutné vzít v úvahu převládající formu železa ve vodě a jeho koncentraci. [2]

V malých koncentracích je železo běžnou součástí vod. Koncentrace železa obvykle převyšuje koncentraci manganu. V povrchových vodách se železo vyskytuje obvykle v setinách až desetínách mg.l^{-1} . Více železa je ve vodách z rašelinišť, které jsou kyselé a obsahují komplexotvorné huminové látky a železo v koncentracích dosahujících až 1 mg.l^{-1} . V nádržích a jezerech dochází k vertikální stratifikaci železa. V období letní a zimní stagnace se ve spodních vrstvách vody u dna (hypolimniu) hromadí rozpuštěné i nerozpuštěné formy železa v koncentraci dosahující až několik desítek mg.l^{-1} , ačkoliv ve svrchních vrstvách (epilimniu) mohou být zjištěny jen setiny mg.l^{-1} . U dna nádrží dochází k redukčním pochodům za vzniku Fe^{II} . Během jarní a podzimní cirkulace se Fe^{II} rozptýluje po celém objemu vody v nádrži a u povrchu při styku s rozpuštěným kyslíkem oxiduje na Fe^{III} a potom hydrolyzuje. Vyloučený hydratovaný oxid železitý postupně sedimentuje, a tím dochází k úbytku železa po celé vertikále. Pokud jsou u dna nádrže anoxické podmínky, redukuje se Fe^{III} na Fe^{II} , které se snáze uvolňuje do roztoku, a koloběh se opakuje (pokud není přítomen sulfan a jeho iontové formy, které vážou železo do málo rozpustného FeS(s) , který je zadržován v sedimentech). [8]

V podzemních vodách neobsahujících rozpuštěný kyslík se může vyskytovat rozpuštěné železo v oxidačním stupni II v koncentracích dosahujících i desítek mg.l^{-1} . Z těchto vod se obvykle již při pouhém protřepání vylučuje sraženina hydratovaného oxidu železitého. U vod silně kyselých (např. důlních) nebo obsahujících organicky vázané formy Fe^{II} , k tomu však nedochází. Příkladem velkých koncentrací železa v prostých podzemních vodách mohou být zdroje pro úpravu vody v Tlumačově (asi 17 mg.l^{-1}), v Novém Bohumíně (asi 40 mg.l^{-1}) a v Mirošově (asi 12 mg.l^{-1}). Důlní vody, vyplňující prostory po těžbě hnědého uhlí s vyššími obsahy pyritu, obsahují železo v koncentraci asi do 300 mg.l^{-1} a sírany v koncentraci asi do 2000 mg.l^{-1} . Vody ložisek kamencových a kyzových břidlic a sulfidických rud obsahují železo v koncentracích převyšujících i 1000 mg.l^{-1} . Ve většině minerálních vod se koncentrace železa pohybují řádově v jednotkách mg.l^{-1} . Minerální vody o koncentraci železa nad 10 mg.l^{-1} se nazývají železnaté. Velká koncentrace železa, v jednotkách až desítkách g.l^{-1} , bývá zjištěna v některých průmyslových odpadních vodách z hutnictví železa a mořiren. [8]

Podstatou většiny způsobů odželezování vody je převedení rozpustných forem železa na formu málo rozpustnou, odstranitelnou z vody sedimentací, filtrací, flotací nebo odstředováním. [2] Následující rovnice popisuje oxidaci železa z dvojmocného na trojmocné.



Počet separačních stupňů při odstraňování suspenzí hydratovaných oxidů železa a manganu závisí na obsahu oxidů železa. Hraniční hodnota koncentrace železa, od které se navrhuje odstraňování suspenze ve dvou stupních, je 5 až 6 mg.l^{-1} Fe. Pro malý výkon a tlakové systémy lze výjimečně připustit obsah železa do 10 mg.l^{-1} Fe. První separační stupeň tvoří usazovací nádrž nebo čířič. Druhý stupeň separace tvoří filtrace, pro kterou se osvědčily otevřené i tlakové filtry. [1]

3 FORMY VÝSKYTU MANGANU VE VODÁCH

Mangan se může vyskytovat ve vodách v rozpuštěné a nerozpuštěné formě, především v oxidačních stupních II, III a IV. V technologii vody může mít význam i mangan v oxidačním čísle VII. [8]

V podzemních vodách se mangan vyskytuje ve formě Mn(II), která je v anoxických podmínkách nejstabilnější. Jedná se o ionizovanou formu Mn^{2+} a $[Mn(OH)]^+$. V neutrálních vodách převládá z rozpuštěných forem jednoduchý hydratovaný kation $[Mn(H_2O)_6]^{2+}$. Dalšími komplexními formami jsou $[Mn(OH)_3]^-$, $[Mn(HCO_3)]^+$, $[Mn(SO_4(aq))]^0$ a další. Z organických látek se na tvorbě komplexů s manganem podílejí zejména huminové látky. [2]

Mangan v oxidačním stupni II je ve vodách obsahujících rozpuštěný kyslík nestabilní. Zejména v alkalickém prostředí se rychle oxiduje a hydrolyzuje. Vylučují se málo rozpustné vyšší oxidy manganu v oxidačním stupni III a IV. Produkty oxidace nelze obvykle popsat jednoduchou stechiometrií, protože vzniká směs $Mn(OH)_2$, Mn_2O_3 , Mn_3O_4 , $MnO(OH)$ a MnO_2 . Složení konečných produktů oxidace, které se z části vylučují v koloidní formě, závisí na hodnotě pH, oxidačně-redukčním potenciálu, teplotě a reakční době. [8]

Na rozdíl od Fe^{II} je Mn^{II} odolnější vůči oxidaci, ale naopak náchylnější k redukci. Oxidace Fe^{II} za stejných podmínek probíhá dostatečně rychle již ve slabě kyselém prostředí. Naopak lze dosáhnout snazší redukce vyšších oxidačních stupňů manganu na Mn^{II} , a tím rozpuštění a uvolnění manganu ze sedimentů do vody, za podmínek, kdy k redukci Fe^{III} ještě nedochází. Komplexní formy Mn^{II} jsou vůči oxidaci rozpuštěným kyslíkem odolnější než jednoduchý ion Mn^{2+} . Velmi stabilní jsou komplexy manganu s některými organickými látkami (např. huminovými), které významně zpomalují rychlost oxidace. [8]

Zvýšená koncentrace železa v přírodních vodách je obvykle doprovázena i zvýšenou koncentrací manganu. Manganu bývá obvykle méně než železa. Vzhledem k omezené rozpustnosti $MnCO_3(s)$, $Mn(OH)_2(s)$ a vyšších hydratovaných oxidů manganu překračuje jeho koncentrace ve vodách zřídka hranici 1 mg.l^{-1} . Obvykle se zjišťují koncentrace pod 1 mg.l^{-1} . Koncentrace v podzemních vodách jsou větší než ve vodách povrchových, kde probíhají oxidační procesy. Huminové látky ve vodách vážou mangan do komplexů a mohou být příčinou vyšších koncentrací. V anoxickém hypolimniu nádrží a jezer se mohou koncentrace manganu pohybovat v rozmezí 1 mg.l^{-1} až 2 mg.l^{-1} . Příkladem velkých koncentrací manganu v podzemních vodách mohou být zdroje pitné vody v Tlumačově (asi $2,6\text{ mg.l}^{-1}$), v Novém Bohumíně a v Mirošově (asi 2 mg.l^{-1}). Mimořádně vysoké koncentrace manganu lze najít v kyselých vodách z okolí rudných nálezů. Například kyselá voda z ložisek sulfidických rud ve Smolníku obsahuje asi 40 mg.l^{-1} manganu. Také některé kyselá vulkanické vody obsahují mimořádně vysoké koncentrace manganu, přes 10 mg.l^{-1} . Vyšší koncentrace manganu lze najít také v odpadních vodách ze zpracování rud, z metalurgických závodů a z výroby, kde se sloučeniny manganu používají jako oxidační činidla. [8]

V chemii přírodních a užitkových vod hrají mimořádnou roli oxidačně-redukční procesy týkající se forem výskytu manganu. Oxidačně-redukční procesy, srážení a rozpouštění tuhých fází jsou příčinou vertikální stratifikace manganu v nádržích a jezerech. Mangan obsažený v sedimentech údolních nádrží může být při poklesu oxidačně-redukčního potenciálu v anoxických až anaerobních podmínkách uvolněn zpět do vody. Tyto procesy probíhají v období letní a zimní stagnace. V období podzimní a jarní cirkulace se mangan rozptýluje do celého objemu nádrže a jeho koncentrace mohou neočekávaně dočasně vzrůst a být příčinou problémů, při úpravě takové vody na vodu pitnou. To se týká i technologie odmanganování, která může být ovlivněna celkovým složením upravované vody. [8]

4 VLIV ŽELEZA A MANGANU NA ZDRAVÍ ČLOVĚKA

4.1 VLIV ŽELEZA NA ZDRAVÍ ČLOVĚKA

Železo je významným prvkem pro oxidačně-redukční procesy a pro transport kyslíku. Je složkou velkého počtu základních proteinů. Proteiny obsahující železo jsou například cytochromy, Fe-sírné proteiny, Fe-aktivované enzymy a proteiny pro ukládání a transport železa. [17,18]

Železo je zapojeno do mnoha významných procesů v těle, např. do transportu kyslíku z plic do tkání a do trans-membránového přenosu elektronů. Je také důležité pro adekvátní imunitní reakce a neuronové funkce. [18]

Hlavním zdrojem železa v populaci je potrava. Zdroje haem-železa (15 % spotřeby) jsou živočišné tkáně. Zdroje ne-haem železa jsou obilniny, luštěniny, ovoce, zelenina a mléčné produkty. Denní spotřeba železa pocházejícího z potravy se pohybuje v intervalu od 10 do 14 mg. Pitná voda obsahující 0,3 mg/l může přispět cca 0,6 mg Fe za den, což je cca 2 až 8 % doporučené dávky železa (RDA). [16]

Homeostáza železa v buňkách je regulována transferovým receptorem a feritinem. Absorpce železa roste, když není dosaženo potřeby železa. Koncepce „regulace zásoby“ se vyvinula z pozorování toho, že absorpce železa odpovídá nepřímo úměrně velikosti zásoby železa. [16]

Nejrozšířenějším problémem v souvislosti se železem je anémie. Doporučená dávka železa (RDA) se pohybuje od 7 do 27 mg.d⁻¹ v závislosti na věku, pohlaví a fyziologickém stavu. Nejvíce náchylnými vůči nedostatku železa jsou těhotné ženy a děti. Nicméně, normální strava obvykle poskytuje dostatek železa. [16] Příznaky spojené s nedostatkem železa jsou únava, malátnost, nedostatek energie. Kromě toho může být oslaben imunitní systém, protože železo je nezbytné pro správné fungování enzymů v imunitních buňkách. [19] Děti trpící nedostatkem železa mohou trpět opožděným vývojem a kognitivní disfunkcí, poruchami růstu, slabostí a horší funkcí střev. [20] Nedostatek železa je více rozšířený než jeho přebytek.

Akutní otrava železem se objevuje většinou náhodně, když děti spolknou větší množství léků s obsahem železa. Symptomy akutní otravy železem jsou např. silné zvracení, průjem, bolest břicha, ale také záněty spojivek a sítnice, pokud železo zůstane v tkáních. [16]

Chronická otrava železem je spojována s genetickými a metabolickými onemocněními, opakovanými transfuzemi krve či s nadměrným příjmem železa. Část populace trpí přetížením železem či hemochromatózou. Dědičná hemochromatóza je jedním z několika onemocnění způsobených zatížením železem a je jednou z nejrozšířenějších genetických nemocí u lidí keltského původu (Irsko, Wales, Anglie). Tito lidé nesou HFE mutace pro dědičnou hemochromatózu. Příznaky hemochromatózy jsou např. chronická únava, artritida, onemocnění srdce, cirhóza, rakovina, cukrovka, onemocnění štítné žlázy, neplodnost. [17,18]

Průměrná letální dávka železa je dle WHO 200 – 250 mg.kg⁻¹ tělesné hmotnosti, ale k úmrtím dochází i po požití dávek okolo 40 mg.kg⁻¹ tělesné hmotnosti. Velká koncentrace železa v pitné vodě stimuluje růst bakterií, může zvýšit pravděpodobnost vzniku autoimunitních onemocnění u jedinců majících genetické predispozice. Železo je spojeno s oxidací volných radikálů, které mohou ovlivňovat stárnutí. Zvýšený obsah železa v mozku mívají často pacienti s Alzheimerovou či Parkinsonovou nemocí. Železo často hraje roli i u aterosklerózy či cukrovky. [21]

Dle WHO je nepravděpodobné, že příjem $0,4 - 1 \text{ mg.kg}^{-1}$ tělesné hmotnosti za den bude mít nepříznivé účinky na lidské zdraví. Při koncentraci železa $0,3 \text{ mg.l}^{-1}$ v pitné vodě, tělesné hmotnosti 60 kg a denní spotřebě 2 l vody, bude příjem železa z pitné vody činit 0,01 mg Fe.kg^{-1} tělesné hmotnosti. [16]

Nedostatek mechanismů pro vylučování železa z buněk a těla způsobuje akumulaci železa v buňkách a v těle. V buňkách tak vzniká nestabilní a reaktivní zásoba železa, která je pravděpodobně zapojena do oxidačních poškození živých částí buněk. Akumulace železa v těle může způsobit neurodegenerativní a stárnoucí procesy. [17]

Na základě prozatímního maximálního tolerovatelného denního příjmu (PMTDI) 0,8 mg Fe na kg tělesné hmotnosti poskytnutého Joint Expert Committee on Food Additives (JECFA), přiděl 10 % PMTDI v pitné vodě činí cca 2 mg.l^{-1} , což nepředstavuje zdravotní riziko. WHO zatím nestanovila směrnou hodnotu pro železo, protože pro koncentrace železa obsažené v pitné vodě nebyly zjištěny žádné nepříznivé účinky. [16]

Nedávné studie z Indie tvrdí, že vysoké koncentrace železa v pitné vodě mohou způsobit vážné zdravotní problémy. Indická studie ukazuje, že pokud je v pitné vodě překročena koncentrace 0,400 až $0,780 \text{ mg.l}^{-1}$, budou způsobeny změny, např. v trávicím traktu. Bylo zjištěno, že lidé, kteří pili pouze vodu, trpěli silnou zácpou, bolestí krku, boků, paží, hlavy a žaludečními vředy. Kromě toho byly pozorovány i noční svalové křeče a zrychlený puls. Také bylo zaznamenáno objevení rezavého potu. Dalšími symptomy byl průjem, otupělost, ztráta chuti k jídlu, úbytek hmotnosti a apatie. [16]

Je třeba zdůraznit, že koncentrace železa v pitné vodě zmíněné v těchto studiích byly výjimečně vysoké (více než 25 krát vyšší než hodnoty běžné v EU). Akutní otrava železem se objevuje spíše náhodně a neexistuje žádný důkaz otravy z pitné vody s běžně se vyskytujícími koncentracemi železa. [16]

Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou vodu udává pro železo mezní hodnotu $0,2 \text{ mg.l}^{-1}$.

4.2 VLIV MANGANU NA ZDRAVÍ ČLOVĚKA

Mangan je základní živinou potřebnou pro správnou funkci lidského těla. Je složkou několika metalloenzymů a chová se jako enzymový co-faktor. Je důležitou složkou enzymů zahrnutých v karbohydrátech, aminokyselinách, bílkovinách, tucích a oxidativní fosforylace generující buněčnou energii – ATP. [18, 22]

Mangan se podílí na funkci mnoha orgánů a je potřebný pro normální imunitní funkci, regulaci cukru v krvi, produkci buněčné energie, reprodukci, trávení a růst kostí. Mangan společně s vitamínem K podporuje srážlivost krve. Jako součást superoxiddismutázy (SOD) má mangan významné antioxidační vlastnosti, přičemž Mn-SOD je jedním z nejpřednějších obranných mechanismů proti poškození volnými radikály. [22]

Hlavním zdrojem manganu v populaci je potrava. Potraviny jako ořechy, obilniny, ovoce, luštěniny, čaj, listová zelenina, kojenecká výživa, maso a ryby jsou bohaté na mangan. Denní spotřeba manganu původem z potravy se pohybuje mezi $0,7$ až $10,9 \text{ mg.den}^{-1}$ a může být vyšší u vegetariánů a pravidelných konzumentů čaje. [16]

Mangan bývá spojován s následujícími toxickými účinky [16]:

1. Kardiovaskulární efekty (poškození srdce u krys).
2. Reprodukční efekty (zvýšení úmrtnosti kojenců, degenerace varlat).

3. Neurologické efekty (neurologické odchylky, poškození dráhy neurotransmiterů, halucinace, symptomy Parkinsonovy choroby, hyperaktivita u dětí, nárůst násilného chování).
4. Efekty na ledviny a játra (záněty ledvin, cirhóza u krys).

Mangan je minerál nutný pro správný vývoj plodu. Nedostatek manganu se u lidí objevuje vzácně, protože je obsažen v mnoha potravinách. Zjištění dvou nedávných studií říkají, že nízká úroveň manganu v krvi matky je spojována s růstovou retardací plodu (IUGR) a nižší porodní hmotností. [16] Nedostatek manganu také způsobuje špatnou tvorbu kostí, poškozuje plodnost a způsobuje vrozené vady. Nedostatek manganu může způsobovat také přechodnou dermatitidu, hypocholesterolemii a zvýšení hladiny jaterních enzymů. [16, 22] Jsou rozdíly v příjmu manganu mezi dětmi do 6 měsíců věku vzhledem k rozdílné koncentraci manganu v lidském mléce a umělém mléce. Lidské mléko obsahuje průměrně $3,5 - 7,5 \mu\text{g.l}^{-1}$ manganu a umělé mléko 100 krát větší koncentrace tohoto kovu. [23] Z toho vyplývá, že podobný poměr existuje u odhadovaného hmotnostně-upraveného příjmu u dětí s průměrnou hmotností 6 kg ve věku 6 měsíců a příjmem 780 ml mléka za den. Po zavedení pevné stravy podíl manganu z mléka klesá. [16]

Dle výživové rady institutu medicíny je průměrná hodnota manganu (AI) $3 \mu\text{g.l}^{-1}$ pro děti od 0 do 6 měsíců, což je méně než v lidském mléce. Pro muže činí AI 2,3 mg Mn za den a pro ženy 1,8 mg Mn za den. Toxické účinky manganu závisí na úrovni expozice, chemické formě, výživě, zdravotním stavu a individuálních rozdílech. [16]

Příjem manganu je regulován tak, že když úroveň manganu je vysoká, gastrointestinální absorpce je redukována. [23] Hlavní způsob vylučování manganu je prostřednictvím žlučového systému. Kojenci a malé děti jsou náchylnější k vysokým koncentracím manganu, vzhledem k nekompletně vyvinutému žlučovému systému, větší retenci a vyšší afinitě některých tkání k manganu než dospělí. [16] Malá část absorbovaného manganu se vyloučí močí, potem, vlasy či mateřským mlékem. [24]

Účinky manganu se projevují zejména na dýchacím traktu a v mozku. Příznaky otravy manganem jsou halucinace, zapomnětlivost a nervová poškození. Mangan může také způsobovat Parkinsonovu chorobu, plicní embolii, záněty průdušek. Při dlouhodobé expozici může mangan způsobit u mužů impotenci. Příznaky syndromu způsobeného manganem jsou např. schizofrenie, skleslost, slabost svalů, bolest hlavy a nespavost. Vzhledem k tomu, že je mangan základním prvkem pro lidské zdraví, nedostatek manganu může mít také účinky na zdraví, jako jsou tloušťka, nesnášenlivost glukózy, srážení krve, kožní problémy, snížení hladiny cholesterolu, poruchy kostí, vrozené vady, změna barvy vlasů a neurologické symptomy. [16]

Pracovní studie s velmi vysokými koncentracemi inhalovaného manganu jsou dostatečným důkazem výskytu syndromu nazývaného jako „manganism“, což je soubor neurologických příznaků a symptomů, které jsou velmi podobné Parkinsonově chorobě (PD). Je charakterizován slabostí, nechutenstvím, bolestí svalů, apatií, pomalou řečí, monotónním tónem hlasu, výrazem obličeje bez projevu emocí, pomalými nemotornými pohyby končetin. Mangan postihuje také plicе, játra a kardiovaskulární systém a indukuje reprodukční a fetální toxicitu. [24]

Vůči nepříznivým účinkům manganu jsou z důvodu citlivějšího nervového systému, nízké úrovni vylučování žluči, vysoké gastrointestinální absorpci a stejnorodé stravě více zranitelné děti. Nežádoucí účinky se projevují jako poruchy chování a intelektuální postižení. Woolf et al. (2002) uvádí, že 10 letý chlapec s abnormální verbální a vizuální funkcí paměti měl zvýšený obsah manganu v krvi, moči a ve vlasech v důsledku chronického požívání vody se

zvýšeným obsahem manganu (1,2 ppm). Odlišnosti chování byly dokázány ve studii obsahující dvě skupiny dětí s průměrným příjmem $600 \mu\text{g.l}^{-1}$ a $160 \mu\text{g.l}^{-1}$ manganu ve vodě z vodovodu. Nedávná studie zahrnující 362 dětí ve věku od 6 do 13 let v Jižním Quebecu (Kanada) uvádí, že desetinásobně zvýšená koncentrace manganu ve vodě může být spojena s úbytkem 2,4 bodu IQ, přičemž medián u podzemních zdrojů pitné vody činí $34 \mu\text{g.l}^{-1}$ a současné standardy pro pitnou vodu jsou maximálně $50 \mu\text{g.l}^{-1}$. [25] K potvrzení těchto zjištění jsou však zapotřebí další studie. [16]

Experimenty na zvířatech, zejména na hlodavcích, nejsou vhodné pro posuzování rizik pro lidské zdraví, protože fyziologické požadavky na mangan se u jednotlivých druhů liší. [22] Mechanismus pro neurodegenerativní poškození specifický pro různé části mozku není zcela zřejmý. Neurotoxita manganu může být spojena s jeho interakcí s dalšími základními stopovými prvky, jako jsou železo, zinek, měď a hliník. Možným mechanismem toxicity manganu může být porucha homeostázy železa a valenční stav manganu. Studie na kulturách buněk ukázaly zvýšení buněčného příjmu železa, když kultivované buňky byly vystaveny působení sloučenin manganu. Zvýšená akumulace železa v neuronech může způsobit oxidační stres buněk, což vede k poškození neuronů. [26]

Na druhou stranu, nedávné studie o lidských a nelidských primátech silně podporují hypotézu, že nadbytečná akumulace manganu v mozku vede k atypické formě Parkinsonovy choroby, která není spojena s degenerací nigrostriálních dopaminergních neuronů, jak je tomu v případě Parkinsonovy choroby. Tyto nové poznatky naznačují, že tyto abnormality způsobené manganem nejsou důsledky snížené syntézy či koncentrace dopaminu, ale spíše porucha schopnosti uvolňovat dostupný dopamin. K potvrzení tohoto nového mechanismu manganové neurotoxicity je třeba provést další výzkum. [16]

Ve směrnici ES o jakosti vody určené k lidské spotřebě (98/83/ES) je hodnota pro mangan stanovena na $50 \mu\text{g.l}^{-1}$ a je pouze orientační, není právně závazná. [16]

Referenční dávka (RfD) $0,14 \text{ mg.kg}^{-1} \text{ Mn}$ za den je odhadovaný příjem pro obecnou populaci, který není spojen s nežádoucími účinky na zdraví. To ovšem neznamená, že příjem vyššího množství, než je referenční dávka, je nutně spojen s toxicitou. [16]

Světová zdravotnická organizace stanovila směrnou hodnotu pro pitnou vodu na $400 \mu\text{g}$ manganu na litr a tolerovatelný denní příjem (TDI) $60 \mu\text{g Mn}$ na 1 kg lidské hmotnosti. V nedávném vydání WHO uvádí, že tato hodnota je mnohonásobně vyšší než koncentrace manganu, které se obvykle vyskytují v pitné vodě. Nepovažuje se tedy za nutnost odvozovat formální hodnotu. [22]

Vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou vodu udává pro mangan mezní hodnotu $0,05 \text{ mg.l}^{-1}$.

5 MOŽNOSTI ODSTRAŇOVÁNÍ ŽELEZA A MANGANU Z VODY

Zvýšený obsah železa ve vodě ovlivňuje negativně její organoleptické vlastnosti, zejména barvu, chuť a zákal. Chuť je ovlivňována až při koncentraci $0,5 - 1,5 \text{ mg.l}^{-1}$, ale i malé koncentrace železa ve vodě mohou být příčinou nadměrného rozvoje železitých bakterií, které zanášejí potrubí a zhoršují pach vody. [2]

Způsoby odželezování [2]:

1. provzdušňováním,
2. alkalizací,
3. oxidací (ozon, chlor, manganistan draselný, peroxid vodíku),
4. kontaktní odželezování,
5. v horninovém prostředí,
6. iontovou výměnou,
7. biologickou cestou,
8. koagulací.

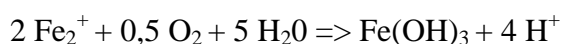
Mangan, podobně jako železo, také ve vyšších koncentracích zhoršuje organoleptické vlastnosti vody, způsobuje technické závady při transportu vody a činí vodu nepoužitelnou pro průmyslové účely (např. textilní průmysl, výroba papíru, potravinářský průmysl). Způsoby, kterými lze mangan z vody odstranit, jsou v zásadě shodné se způsoby odželezování. [2]

Způsoby odmanganování [2]:

1. provzdušňováním,
2. alkalizací,
3. oxidací (ozon, chlor, manganistan draselný, oxid chloričitý),
4. kontaktní odmanganování,
5. biologickou cestou,
6. koagulací,
7. pískovou filtrací.

5.1 ODŽELEZOVÁNÍ A ODMANGANOVÁNÍ PROVZDUŠŇOVÁNÍM

Při provzdušňování dochází ke snížení obsahu oxidu uhličitého, tzn. ke zvýšení pH. Provzdušňování se používá zejména u podzemních vod s obsahem CO_2 a s menším množstvím železa bez manganu. Ionty Fe^{2+} se oxidují kyslíkem dle reakce [2]:



Na oxidaci 1 mg Fe^{2+} je teoreticky zapotřebí 0,143 mg O_2 . K provzdušňování se používají stejná zařízení jako u mechanického odkyselování vody, která lze dle technického principu rozdělit do tří kategorií. Jedná se o tato zařízení [3]:

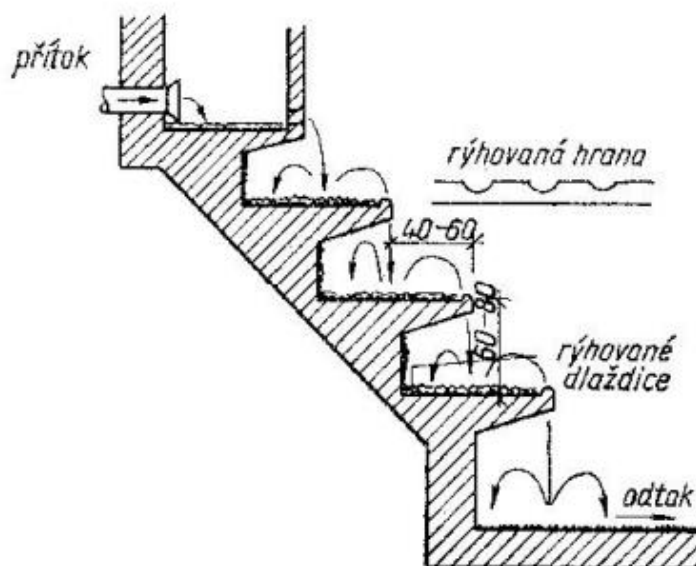
1. gravitační,
2. trysková,
3. difuzorová.

Gravitační provzdušňovací zařízení

Mezi gravitační zařízení patří kaskády a provzdušňovací věže, přičemž provzdušňovací věže jsou nejčastěji používaným zařízením pro gravitační způsob provzdušňování. Před rozhodnutím o typu zařízení by mělo být vždy provedeno poloprovozní odzkoušení zařízení. O tom, zda je navrhované zařízení vhodné, rozhoduje typ vody, její chemické složení a zatížení obsahem volného oxidu uhličitého. [3]

Nejjednodušším provzdušňovacím zařízením je kaskáda, která kopíruje provzdušnění vody v přírodních podmínkách (např. peřeje v řece, slapy, vodopády atd.) nebo umělé provzdušnění ve vodotečích (stupně, jezy apod.). Kaskáda je jednoduché zařízení bez nároků na technologické zařízení. Nevýhodami tohoto zařízení jsou požadavky na značný obestavěný prostor. [3]

Aby byla kaskáda dostatečně účinná, musí mít několik stupňů nad sebou (optimálně cca 5 – 6) a každý stupeň má mít účinnou výšku cca 0,6 – 0,7 m. Pokud je kaskáda v interiéru, je třeba pro stěny a strop místnosti zvolit odolné materiály a dbát na dokonalé odvětrání celého prostoru. Jako materiál pro kaskádu je vhodný drsný lomový kámen (např. žula) s hrubým nebo žádným spárováním mezi kameny. Účinnost kaskády lze vylepšit osazením přelivných hran na jednotlivé stupně, popř. přelivných stěn s možností jejich podtékání. Potom dochází k mixování dvou přelivných paprsků na jednom stupni. [3]



Obr. 5.1 Kaskáda [9]

Dalším gravitačním provzdušňovacím zařízením je provzdušňovací věž. V současné době mají provzdušňovací věže půdorys čtverce, kruhu či obdélníku a převládající vertikální rozměr. Plášť věže je z nerezů nebo z plastů. Věže mají buď přirozený průchod vzduchu, který proudí proti protékající vodě nebo je vzduch do věže vháněn, či naopak z věže odsáván. Průtok vody věží je vždy shora dolů a tok vzduchu ze spodu nahoru. Aktivní část věže má provzdušňovací efekt, který zajišťuje, že voda protéká v co nejmenších částicích (rozstřík) tak, aby protiproud vzduchu účinně vytěsňoval z vody oxid uhličitý. V horní části věže jsou náplně různých granulátů či úlomků keramických či plastových materiálů (např. PP kroužky o velkém povrchu). V aktivní části jiného typu věže jsou zavěšeny vlnité desky nebo lamely, přes které shora dolů protéká provzdušňovaná voda. [3]



Obr. 5.2 Provzdušňovací věž [zdroj: Ilona Ševčíková]

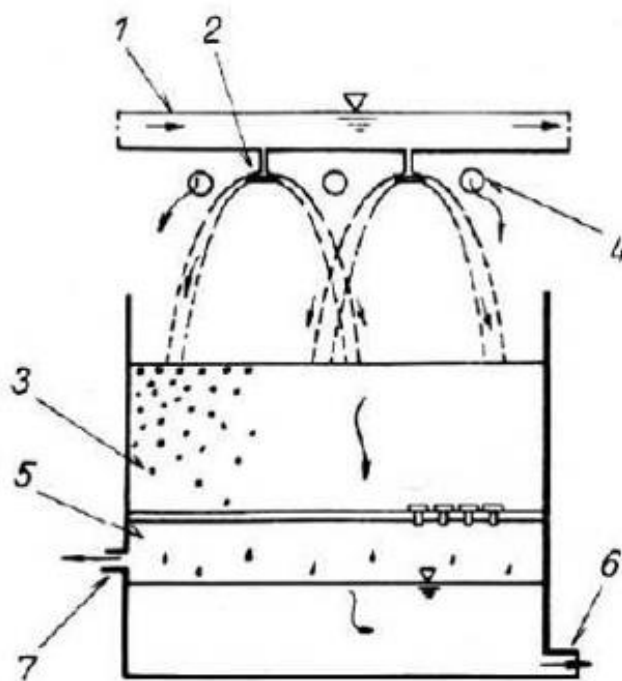
Trysková provzdušňovací zařízení

Principem tohoto provzdušňování je tvorba jemných vodních kapek při průchodu vody speciálními tryskami. Existuje celá řada konstrukčních typů provzdušňovacích trysek. Účinnosti tohoto typu provzdušňování záleží jak na typu trysky, tak na typu materiálu, na který jsou kapky vody zkrápěny. Tento typ provzdušňování je v současnosti používán výjimečně, přičemž se jedná o malé úpravárenské jednotky, kde je provzdušňování vody spojeno s filtrací. Voda rozptýlená tryskami zkrápí filtrační náplň speciálního filtru. Náplň takového filtru je tvořena například částicemi z keramických či plastových hmot o různé zrnitosti. Filtrační náplň může být tvořena i hrubozrnným pískem či PP kroužky apod. U malých úprav se používá i tryskový rozstřík vody na hladinu otevřeného rychlofiltru, či

pomalého biologického filtru. Existují různé druhy trysek různých typů a konstrukcí (např. trysky drážďanské, amsterodamské, Plasgruovy a další). [3]

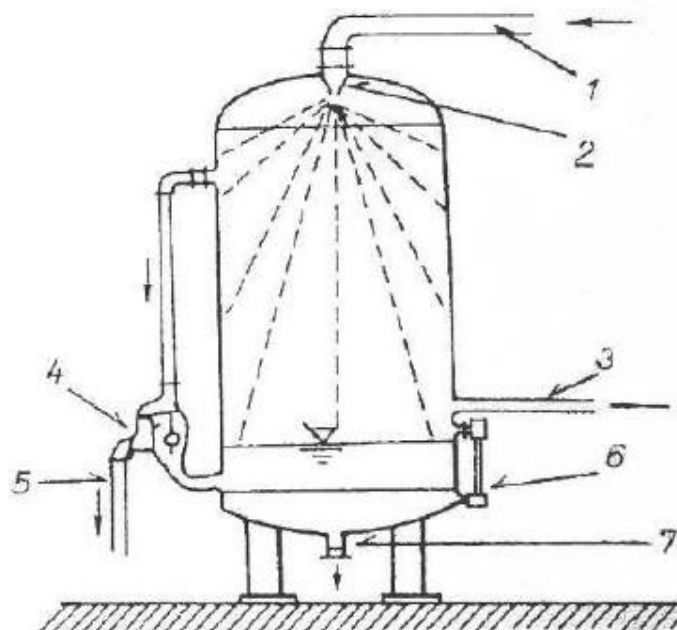


Obr. 5.3 Tryskové provzdušňovací zařízení [zdroj: Ilona Ševčíková]



1 – přívod vody, 2 – tryska, 3 – náplň filtru, 4 – ventilační odpor, 5 – směs vody a vzduchu,
6 – provzdušněná voda, 7 – odvod vzduchu

Obr. 5.4 Skrápěný filtr [3]



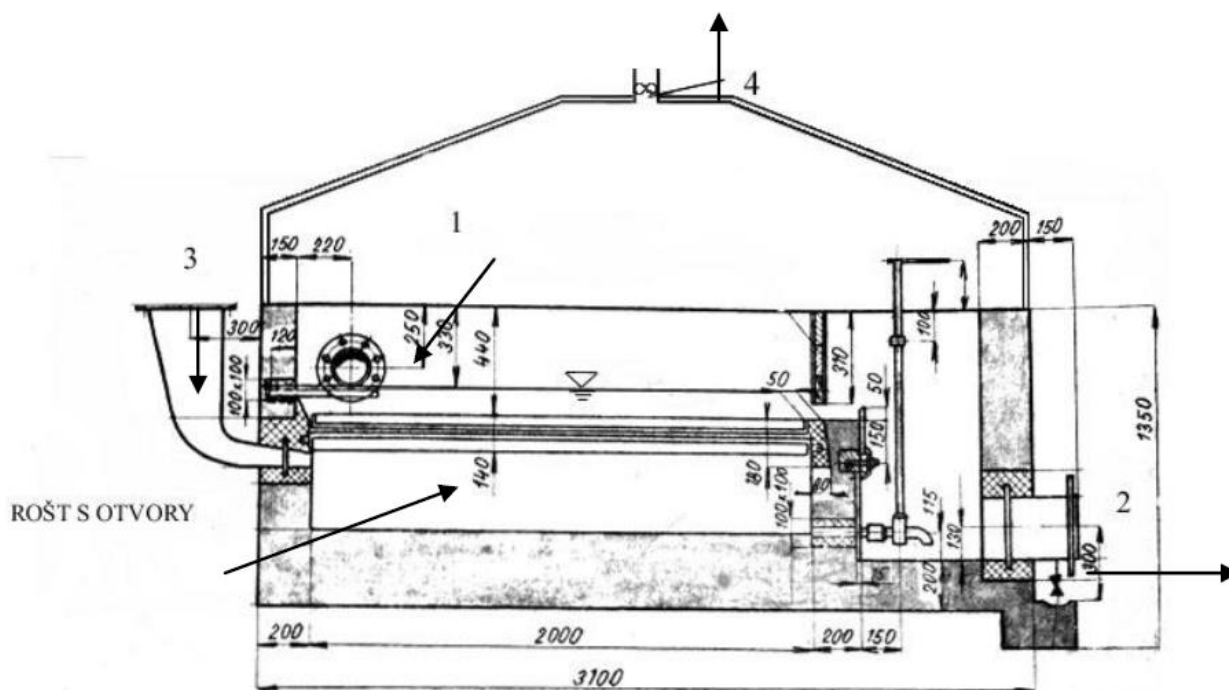
1 – přívod vody, 2 – tryska, 3 – přívod vzduchu, 4 – regulační uzávěr, 5 – odvod vzduchu, 6 – vodoznak, 7 – provzdušněná voda

Obr. 5.5 Tlakové provzdušňovací zařízení [3]

Difuzorová provzdušňovací zařízení

Difuzorová provzdušňovací zařízení jsou horizontální zařízení, jejich principem je vhánění vzduchu děrovaným roštem do tenké vrstvy protékající upravované vody. Vzduch proniká vrstvou vody, voda bublá (vaří) a je z ní takto vytěsňován volný oxid uhličitý a další plyny ve vodě rozpuštěné (např. sirovodík, metan, těkavé uhlovodíky apod.). Vytěsňené plyny ve směsi s vháněným vzduchem odcházejí nad hladinou bublající vody přirozeným odtahem či pomocí odtahových ventilátorů. [3]

Mezi difuzorová zařízení patří např. zařízení švédského původu s názvem INKA. Rošt horizontálního provzdušňovacího zařízení se vyrábí z nerezového materiálu či plastů. Otvory v roštu jsou kruhového tvaru a zaujímají 2 – 3 % plochy roštu. Výška vody nad roštem nepřesahuje 20 – 25 cm. Pokud surová provzdušňovaná voda obsahuje velké množství železa a manganu, je toho zařízení pro aeraci nevhodné. Při oxidaci železa a manganu dochází k zarůstání otvorů roštu jejich oxidy. Doporučuje se, aby množství železa a manganu ve vodě pro tento typ aerace nepřesahovalo 3 – 5 mg.l⁻¹. Vzduch pro aeraci se vyrábí ventilátory s filtrací nasávaného vzduchu. [3]



1 – přítok vody, 2 – odtok vody, 3 – přívod vzduchu, 4 – odvod vzduchu do exteriéru budovy

Obr. 5.6 Zařízení INKA v ŽB provedení [3]

Na obdobném principu pracuje celá řada zařízení pod různými názvy, např. Bubla aj. Tato zařízení jsou prováděna celá v plastovém či nerezovém plášti bez nutnosti betonovat jámky či nádrže. [2]



Obr. 5.7 Horizontální difuzorové provzdušňovací zařízení [3]

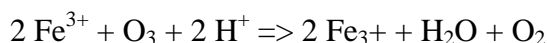
Pokud je mangan ve vodě převážně ve formě iontů Mn^{2+} , oxiduje se vzdušným kyslíkem pomalu. Oxidace kyslíkem nemůže dosáhnout výraznější rychlosti, pokud pH vody je nižší než 9,5. Rychlost oxidace závisí i na teplotě. [2]

5.2 ODŽELEZOVÁNÍ A ODMANGANOVÁNÍ OXIDAČNÍMI ČINIDLY

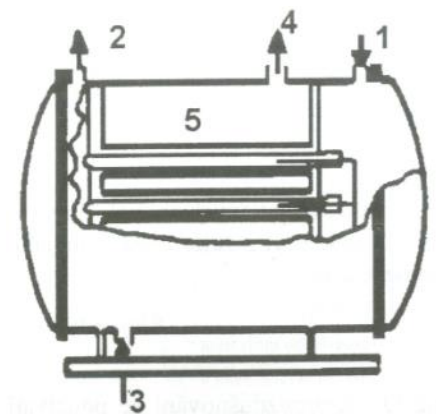
Odželezování a odmanganování oxidací za použití různých oxidačních činidel se provádí zejména v malých úpravnách a u povrchových vod s obsahem Mn^{2+} . Používá se ozon, chlor, manganistan draselný a pro oxidaci iontů Fe^{2+} i peroxid vodíku. [2]

Odželezování ozonem

Ozon se využívá u vod, v nichž je železo vázáno v organických komplexech např. s huminovými látkami. Tyto látky působí jako ochranné koloidy a brání vylučování vloček $Fe(OH)_3$. [2] Oxidace železa ozonem probíhá dle následující reakce.

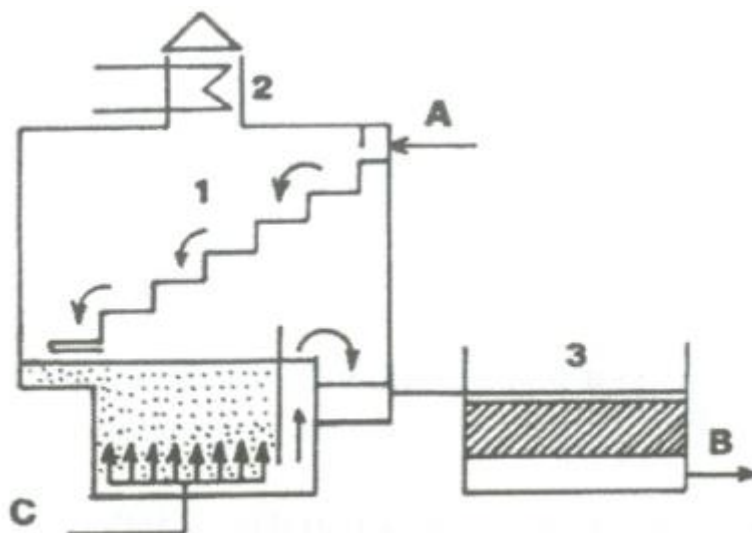


Na oxidaci $1 \text{ mg.l}^{-1} Fe^{2+}$ je zapotřebí teoreticky $0,43 \text{ mg } O_3$. Rychlost oxidace je nezávislá na počáteční koncentraci železa ve vodě a na teplotě. Závisí na době kontaktu odželezované vody s ozonem. [2]



1 – vstup vzduchu, 2 – výstup ozonizovaného vzduchu, 3, 4 – vstup a výstup chladicí vody,
5 – trubice

Obr. 5.8 Trubkový ozonizátor [2]

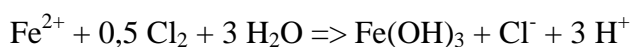


A – přítok, B – odtok, C – ozonizovaný vzduch, 1 – oxidační jednotka, 2 – termická likvidace ozonu, 3 – filtr

Obr. 5.9 Odželezování vody ozonem [5]

Odželezování chlorem

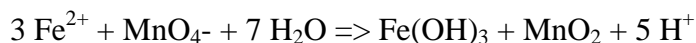
Vody obsahující železnaté sloučeniny můžeme oxidovat chlorováním. Průběh chemické reakce je následující [1]:



Pro oxidaci 1 mg Fe^{2+} je zapotřebí 0,65 mg Cl_2 . Oxidace se provádí v absorbérech či kontaktních zařízeních, zajišťujících dokonalé směšování vody s oxidačním činidlem a potřebnou reakční dobu. K oxidaci manganatých solí se používá kombinace chlorování s dávkováním manganistanu draselného. Nejdříve se injektuje chlorová voda přes proudový míšič, po promíchání se přidává roztok manganistanu draselného před další míšič. Oxidační reakce probíhá v nádrži se zdržením asi 10 minut. [1]

Odželezování manganistanem draselným

Oxidace $\text{Fe}(\text{II})$ manganistanem draselným probíhá velmi rychle a to i v neutrální oblasti pH dle následující reakce. [5]



Teoretická spotřeba KMnO_4 na 1 mg Fe^{2+} činí 0,567 mg. Obsahuje-li voda organické látky, spotřebuje se část manganistanu také na jejich zoxidování. [5]

Odmanganování oxidem chloričitým

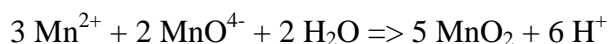
Oxidace $\text{Mn}(\text{II})$ probíhá podle reakce [2]:



Množství ClO_2 potřebné k oxidaci 1 g Mn^{2+} je 2,5 g. Tohoto způsobu se používá zřídka. Oxidace probíhá pomalu a přijatelné rychlosti lze dosáhnout jen s vysokým přebytkem činidla. [2]

Odmanganování manganistanem draselným

Odmanganování probíhá podle oxidačně – redukční rovnice [2]:

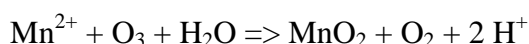


Teoretická dávka KMnO_4 potřebná na oxidaci 1 g Mn^{2+} je 1,9 g. Praktická dávka se od teoretické liší a závisí na obsahu organických látek ve vodě, jejím pH a celkovém složení. Dávkování manganistanu musí být přesné, protože nadbytek vyvolává ve vodě růžové zbarvení, které přechází až do žluta. [2]

Optimální pH pro oxidaci manganu je 7,2 – 7,3 a doba zdržení v zařízení je pod 5 minut. V komplexech manganu s organickými látkami vzrůstá reakční doba až na 20 minut, k urychlení je nutná úprava pH nad 8,5. [2]

Odmanganování ozonem

Oxidace Mn^{2+} ozonem probíhá velmi rychle podle následující reakce [5]:



Na oxidaci 1 g Mn^{2+} je potřeba dávka ozonu 0,9 g. Dávkování musí být takové, aby došlo k oxidaci Mn^{2+} jen na MnO_2 , protože při přebytku ozonu vzniká MnO_4^- a voda se barví do fialova. [5]

5.3 KONTAKTNÍ ODŽELEZOVÁNÍ A ODMANGANOVÁNÍ

Kontaktní odželezování a odmanganování se provádí na preparovaných píscích působením vyšších oxidů manganu. Nejprve probíhá sorpce iontů a ty se pak dále oxidují. Písky preparované vyššími oxidy manganu sorbují nejen ionty Mn^{2+} a Fe^{2+} , ale i ionty těžkých kovů, radioaktivní látky a amonné ionty. [2]

Při odželezování a odmanganování se stále častěji používají kontaktní hmoty. Příkladem můžou být hmoty Birm, Greensand, Semidol a Cullsorb M. [2]

5.3.1 Birm

Birm je filtrační materiál využívaný k odstraňování rozpuštěného železa a manganu (při hodnotě pH větší než 8,5). Tento filtrační materiál pracuje jako katalyzátor oxidace-redukce železa a manganu, vzniká filtrovatelný hydroxid železitý, který je možné vyfiltrovat na filtrační náplni. Birm má vysokou schopnost adsorpce. Odpadá nutnost regenerace pomocí manganistanu draselného či jiného oxidantu; pouze za předpokladu okysličené vody na min. 15 % stechiometrie kovů. Birm má vynikající provozní výsledky při regeneraci pouze zpětným proplachem. [4]

Provozní předpoklady pro úpravu vody pomocí materiálu Birm [4]:

1. voda bez oleje a jiných mastných sloučenin, bez H_2S (sulfan, sirovodík),
2. pH 6,8 – 9,0, v případě výskytu manganu 8,0 – 8,5,
3. okysličení vody min. 15 % stechiometrie kovů (této hodnoty není běžně dosaženo např. ve vrtané studni),
4. chlor výrazně snižuje účinnost materiálu.

Fyzikální vlastnosti materiálu Birm jsou shrnuty v tabulce 5.1.

Tab. 5.1 Fyzikální vlastnosti materiálu Birm [4]

Barva	černá
Specifická hmotnost	2000 g/l
Objemová hmotnost	700 - 800 g/l
Zrnění	0,6 mm
Koeficient shodnosti	1,6

Provozní podmínky pro úpravu vody pomocí materiálu Birm jsou shrnuty v tabulce 5.2.

Tab. 5.2 Provozní podmínky materiálu Birm [4]

Výška lože	750 - 900 mm min.
Provozní průtok	9 - 13 m ³ /h/m ²
Zpětný proplach	24 - 30 m ³ /h/m ²
Rozpínavost lože (proplach)	20 - 40 %



Obr. 5.10 Birm [zdroj: Ilona Ševčíková]

5.3.2 Greensand Plus

Greensand Plus je filtrační materiál, který slouží k odstraňování rozpuštěného železa, manganu, sulfanu, arsenu a radia ze studniční vody. Filtrační materiál pracuje jako katalyzátor oxidace-redukce železa a manganu. Oxiduje železo a mangan na nerozpustné oxidy. Má vysokou schopnost adsorpce. Vyrábí se aktivací glaukonitického zeolitu síranem manganatým a manganistanem draselným. Materiál je dodáván v nezregenerované formě, před zprovozněním se musí regenerovat manganistanem draselným po dobu minimálně 4 hodiny. Doporučená hodnota jsou 4 g manganistanu draselného na 1 litr náplně. Po každé regeneraci je nutný důsledný proplach lože do odpadu. Hodnota pH je minimálně 6,2 – 6,5. [4]



Obr. 5.11 Greensand Plus [zdroj: Ilona Ševčíková]

Fyzikální vlastnosti materiálu Greensand Plus jsou shrnuty v tabulce 5.3.

Tab. 5.3 Fyzikální vlastnosti materiálu Greensand Plus [4]

Barva	černá
Specifická hmotnost	2400 g/l
Objemová hmotnost	1375 g/l
Zrnění	0,3 - 0,35 mm
Koeficient shodnosti	1,6

Provozní podmínky pro úpravu vody pomocí materiálu Greensand Plus jsou shrnuty v tabulce 5.4.

Tab. 5.4 Provozní podmínky materiálu Greensand Plus [4]

Výška lože	750 mm min.
Provozní průtok	7 - 15 m ³ /h/m ²
Zpětný proplach	30 - 35 m ³ /h/m ²
Rozpínavost lože (proplach)	35 - 40 %

5.3.3 Polovypálený dolomitický vápenec HD (Semidol)

Polovypálený dolomit (Semidol) je filtrační materiál, který se používá při úpravě vody. Chemickým složením odpovídá ekvimolární směsi uhličitanu vápenatého a oxidu hořečnatého. Semidol se využívá pro odkyselování, a dále pro odželezování a odmanganování vody vysrážením na příslušné hydroxidy. V tomto případě je nutné filtr pravidelně prát, aby se odstranily vysrážené hydroxidy těchto kovů. Semidol se dodává ve třech zrnitostech – třída I (0,5 – 1,25) mm, třída II (0,2 – 2,5 mm) a třída III (2,5 – 4,5 mm). Objemová hmotnost materiálu je v závislosti na velikosti zrna 1,1 – 1,2 t.m⁻³. Materiál je schválen pro použití na úpravu vody na pitnou. [6]

Příklady využití materiálu Semidol [6]:

1. odkyselování (zvýšení pH) pitné vody,
2. snížení agresivity vody (odstranění volného oxidu uhličitého),
3. ztvrzování vody – zvýšení obsahu vápníku a hořčíku,
4. odželezování, odmanganování.



Obr. 5.12 Semidol [zdroj: Ilona Ševčíková]

Fyzikální a chemické vlastnosti a podmínky provozu materiálu Semidol jsou shrnuty v tabulce 5.5.

Tab. 5.5 Fyzikální a chemické vlastnosti a provozní podmínky materiálu Semidol [7]

Obsah CaO [hmot. %]	40,3
Obsah MgO [hmot. %]	26,5
Obsah CO ₂ [hmot. %]	32,5
Obsah SiO ₂ [hmot. %]	0,3
Obsah Al ₂ O ₃ [hmot. %]	0,1
Obsah Fe ₂ O ₃ [hmot. %]	0,05
Měrná hmotnost [kg/m ³]	1200
Pórovitost [%]	14,3
Spotřeba materiálu na 1 g CO ₂ [g]	1,3
Dopor. doba kontaktu [min]	30
Výška filtrační vrstvy - otevřený filtr [mm]	800 - 1300
Výška filtrační vrstvy - uzavřený filtr [mm]	1500 - 2500
Průtoková rychlost - otevřený filtr [m/hod]	3 - 6
Průtoková rychlost - uzavřený filtr [m/hod]	8 - 12
Balení PE pytle [kg]	25

5.3.4 Cullorb M (Pyrolusit)

Dle informací poskytnutých společností CULLIGAN.CZ s.r.o. je filtrační hmota s obchodním názvem Cullorb M krystalický těžený MnO₂ (minerál Pyrolusit), bez jakýchkoliv přísad a nečistot. Cullorb M se používá k odstraňování železa a manganu z vody pomocí oxidace. Materiál je reaktivován sloučeninami na bázi chlóru nebo vzduchem. Materiál Cullorb M se využívá ve filtrech UFP, nazvaných Superiron. Maximální rychlost filtrace je až 16 m.hod⁻¹. V praxi se však navrhují filtry pro rychlost mezi 10 až 12 m.hod⁻¹.

Fyzikální vlastnosti materiálu jsou následující. Barva je tmavě hnědá až černá, zrna jsou kulatá nebo hranatá, materiál je homogenní bez cizorodých materiálů. [27]

Fyzikálně-chemické vlastnosti materiálu Cullorb M jsou shrnuty v tabulce 5.6.

Tab. 5.6 Fyzikální a chemické vlastnosti materiálu Cullorb M [27]

Efektivní zrno	> 0,40 mm
Specifická hmotnost	1750 - 1850 kg/m ³
Zhutněná specifická hmotnost	1900 - 2050 kg/m ³
Skutečná specifická hmotnost	3500 - 4000 kg/m ³
Vlhkost při 105 °C	< 2 %
Mangan (Mn)	> 53 %
Oxid manganičitý (MnO ₂)	< 80 %
Železo (Fe)	< 3,5 %

5.4 DALŠÍ ZPŮSOBY ODŽELEZOVÁNÍ A ODMANGANOVÁNÍ

5.4.1 Odželezování a odmanganování alkalizací

Vzhledem k tomu, že oxidace iontů Fe^{2+} a Mn^{2+} značně závisí na hodnotě pH, musí se většinou pro dosažení potřebného efektu voda alkalizovat, k čemuž se nejčastěji používá vápno, popř. uhličitan sodný a jen výjimečně hydroxid sodný. Železo ve vodě je možné srážet alkáliemi jako je např. hydroxid vápenatý, uhličitan sodný nebo hydroxid sodný. Vznikne sraženina hydroxidu železnatého, která při vyšším pH a dostatku kyslíku oxiduje na hydroxid železitý. Rychlost oxidace je při pH 4 velmi nízká, střední je při pH 6 – 8 a dále vzrůstá při zvyšování pH nad 8. Vápněním se odstraní také agresivní oxid uhličitý, při jeho velké koncentraci musí být voda nejdříve odkyselena. [2]

5.4.2 Odmanganování pískovou filtrací

Na filtrační náplni se vytváří vrstvička MnO_2 , která katalyzuje oxidaci iontů Mn^{2+} přítomných ve filtrované vodě. Ve skutečnosti jsou ionty Mn^{2+} sorbovány MnO_2 a pomalá oxidace může probíhat dle reakce [5]:

$\text{Mn}^{2+} + \text{MnO}_2 \Rightarrow \text{MnO}_2 \cdot \text{Mn}^{2+}$... reakce probíhá rychle

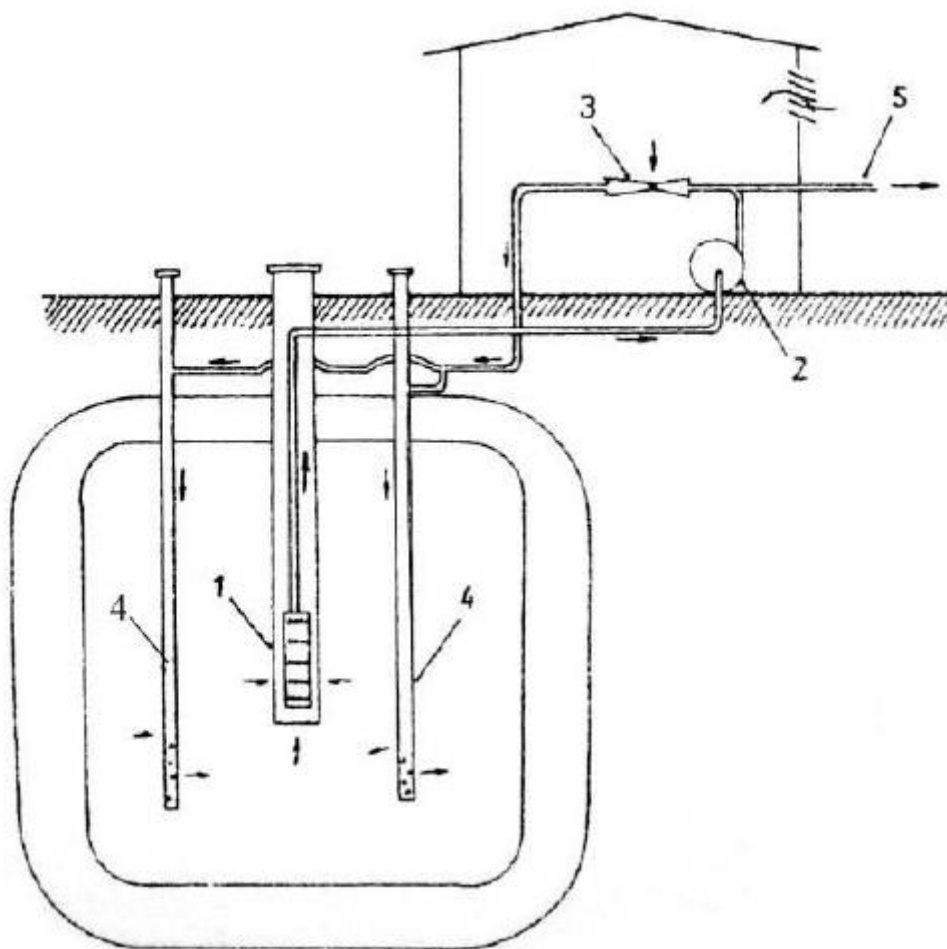
$\text{MnO}_2 \cdot \text{Mn}^{2+} + \text{O}_2 \Rightarrow 2 \text{MnO}_2$... reakce probíhá pomalu

Tzv. manganový písek s vrstvou MnO_2 na povrchu může sloužit jako odmanganovací prostředek. K jeho regeneraci lze použít roztok manganistanu draselného. [5]

5.4.3 Odželezování v horninovém prostředí

Technologie odželezování a odmanganování podzemní vody v horninovém prostředí je známa od konce 19. století. K většímu uplatnění této technologie došlo až počátkem 60. let minulého století ve Skandinávii. Způsob je známý pod názvem Vyredox a využívá cirkulaci vody obohacenou vzduchem mezi soustavou vsakovacích a jímacích studní. [1]

Provzdušněná voda protéká do horniny. V mezerách mezi zrny dochází k růstu železitých bakterií a tedy ke snižování koncentrace rozpuštěného železa. Upravená voda se jímá studněmi a dopravuje do spotřebiště. [3] Schéma způsobu Vyredox je uvedeno na obrázku 5.13.



1 – jímací studna, 2 – čerpadlo, 3 – ejektor, 4 – vsakovací studna, 5 – odtok upravené vody

Obr. 5.13 Schéma okruhu Vyredox [1]

5.4.4 Odželezování iontovou výměnou

Pro odstranění železa Fe(II) do maximální koncentrace 5 mg.l^{-1} lze použít měniče kationtů, pracující v sodíkovém či vápníkovém cyklu. K regeneraci se používá buď 2 procentní roztok chloridu sodného nebo 5 procentní roztok chloridu vápenatého. Odželezovaná voda musí mít nízký obsah vápníku a hořčíku. [2]

5.4.5 Odželezování a odmanganování koagulací

Odželezování koagulací se používá u vod, kde je železo vázáno v podobě komplexů na huminové látky. Používají se koagulanty na bázi Al a Fe a polymerní flokulanty. Jejich dávky se odvozují z výsledků laboratorních koagulačních pokusů. Pro odmanganování se koagulace využívá, když voda obsahuje organické látky s komplexně vázaným manganem. [2]

5.4.6 Odželezování a odmanganování biologickou cestou

Metabolismus některých bakterií je založen na oxidaci Fe(II) na Fe(III) . V příznivých podmínkách probíhá oxidace velmi rychle. Ke známým rodům bakterií patří rody *Leptothrix*, *Crenothrix*, *Siderocapsa*, *Ferrobacillus*, *Galionella*, *Thiobacillus* a další. Způsob předpokládá,

že surová voda obsahuje amoniak. K optimálním podmínkám patří obsah rozpuštěného kyslíku 0,2 – 0,5 mg/l, pH 6,3 a hodnota oxidačně-redukčního potenciálu 100 mV. [2]

K hlavním výhodám tohoto způsobu patří [2]:

1. není potřeba přidávat reakční činidla,
2. není zapotřebí oxidační věž,
3. vznikající kal má velmi dobré sedimentační vlastnosti,
4. pracuje se s velkou filtrační rychlostí (40 – 50 m.h⁻¹), praní filtru je ekonomické.

Pomocí bakterií lze biologicky oxidovat i mangan. Některé způsobují oxidaci manganu nepřímo v důsledku zvýšení pH. Jiné bakterie oxidují mangan pomocí svých intracelulárních enzymů, případně adsorbují mangan rozpuštěný na povrchu buněčné membrány a k jeho oxidaci dochází pomocí extracelulárních (mimobuněčných) enzymů. Mangan se poté koncentruje do vrstvy, která obklopuje buňku nebo skupinu buněk. [2]

Pro rozvoj těchto bakterií je zapotřebí prostředí s hodnotou oxidačně-redukčního potenciálu nad 40 mV. Klesne-li hodnota potenciálu, mohou určité bakterie rozpouštět akumulovaný mangan a převádět jej tak z nerozpustné formy MnO₂ na disociovaný kationt Mn²⁺. Přítomnost snadno rozložitelných organických látek ve vodě urychluje metabolismus některých manganových bakterií. Nevýhodou procesu je poměrně dlouhá doba zapracování. Růst bakterií oxidujících mangan je pomalejší než bakterií oxidujících železo. [2]

6 VYUŽITÍ FILTRAČNÍCH MATERIÁLŮ BIRM, GREENSAND A SEMIDOL V PRAXI

V rámci zpracování této kapitoly bylo osloveno několik dodavatelů filtračních materiálů a byly získány následující informace o praktickém využití materiálů Berm, Greensand a Semidol.

Dle informací poskytnutých společností Kowa spol. s.r.o. je pro odstraňování železa a manganu nejvhodnějším materiálem Greensand, přičemž tento materiál se využívá např. na úpravně vody pro obec Vysoké Pole ve Zlínském kraji, která byla v rámci zpracování diplomové práce navštívena. Dále je Greensand využíván na úpravách vody pro obce Služátky (Vysočina), Pamětník (Královéhradecký kraj) a pro úpravu vody pro Zemědělské družstvo Telč (Vysočina).

S filtračním materiálem Berm má společnost Kowa spol. s.r.o. o něco horší zkušenosti než s materiálem Greensand, a proto Berm pouze prodává subdodavatelům do jejich aplikací (materiál Berm byl dodán např. společnosti Dima Olomouc, s.r.o.). K odstraňování železa a manganu využívá společnost Kowa spol. s.r.o. pouze Greensand.

Filtrační materiál Semidol je využíván společností Kowa spol. s.r.o. na odkyselování vody, zvyšování pH, popř. obohacení vody o deficitní Ca, Mg (zvýšení tvrdosti vody). K odželezování a odmanganování není Semidol společností Kowa spol. s.r.o. využíván. Filtrační materiál Semidol byl instalován např. na úpravně vody pro obec Bojiště (Vysočina) a obec Horní Dlužiny (Vysočina).

Dále byla oslovena společnost Culligan CZ s.r.o., která z těchto tří materiálů pro odželezování a odmanganování vody využívá pouze materiál Greensand. Filtrační materiál Berm není společností Culligan CZ s.r.o. využíván. Materiál Semidol je využíván pouze pro odkyselování a remineralizaci vody. Společnost Culligan CZ s.r.o. má velmi dobré zkušenosti s aktivovanou filtrační náplní Pyroluzite neboli Cullsorb M.

Dalším dodavatelem filtračních materiálů je společnost Inform-Consult-Aqua, s. r. o. Greensand je touto společností využíván s příslušnou úpravou hodnoty pH na několika úpravách. Berm tato společnost využívá velice omezeně, v posledním období téměř bez provozní aplikace. Semidol je aplikován v odkyselovacích technologiích, tedy ne při odstraňování železa a manganu.

Z výše uvedeného vyplývá, že se v praxi k odželezování a odmanganování z těchto tří materiálů nejvíce využívá filtrační materiál Greensand, který je instalován na několika úpravách. Výrazně méně často se pro odstraňování železa a manganu využívá filtrační materiál Berm. Na úpravně vody Sudslava (Pardubický kraj), která byla v rámci zpracování diplomové práce navštívena, mají s tímto materiálem dobrou zkušenost. Filtrační materiál Semidol se dle všech oslovených dodavatelů k danému účelu (odstraňování železa a manganu) v praxi nepoužívá.

Filtrační materiály Greensand, Berm a Semidol se využívají převážně na malých úpravách vody (řádově jednotky l.s^{-1}), nebyla nalezena žádná výrazně větší úprava, která by tyto materiály využívala.

6.1 VYUŽITÍ FILTRAČNÍHO MATERIÁLU GREENSAND

6.1.1 Úpravna vody Vysoké Pole

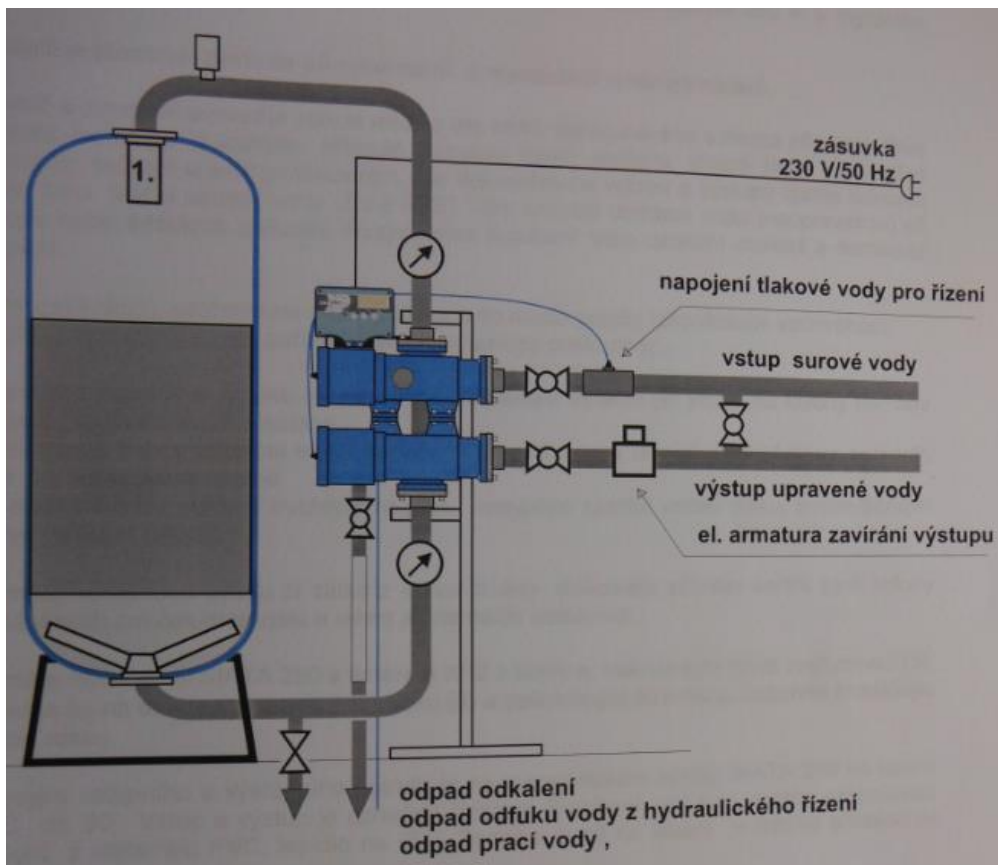
Na úpravně vody Vysoké pole, kterou provozuje společnost VaK Zlín a.s., je surová voda čerpána ze 2 vrtů a 1 studny. Výkon úpravny vody činí cca 3 l.s^{-1} . Surová voda je filtrována přes tlakový filtr GS 3072 XP2 s filtračním materiálem Greensand.



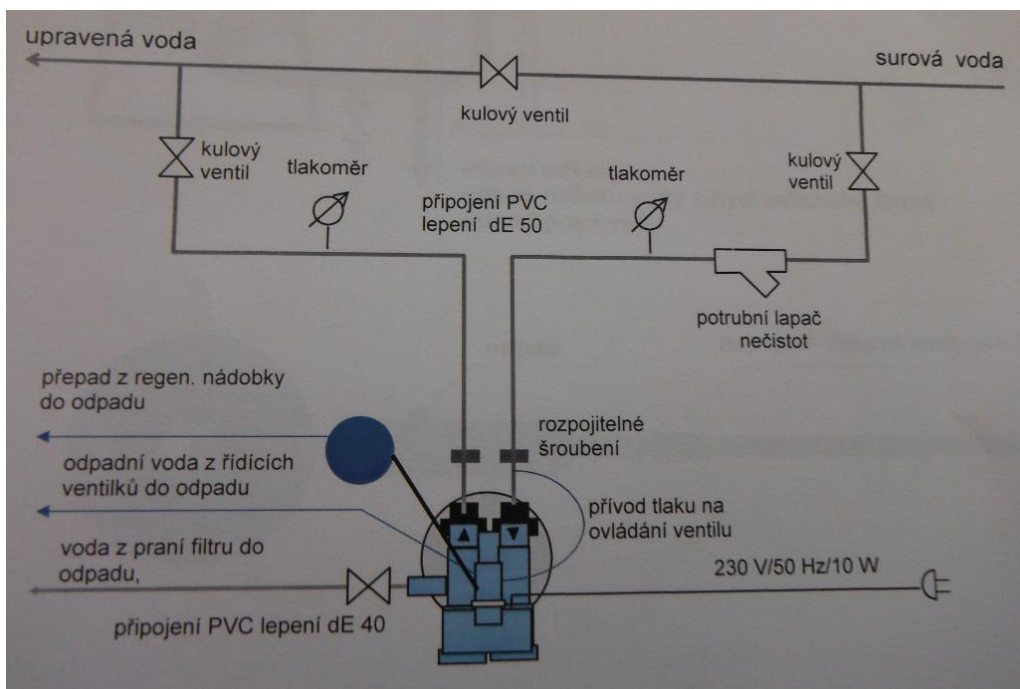
Obr. 6.1 Úpravna vody Vysoké Pole [zdroj: Ilona Ševčíková]



Obr. 6.2 Tlakový filtr s materiálem Greensand na ÚV Vysoké Pole [zdroj: Ilona Ševčíková]



Obr. 6.3 Schéma tlakové filtrace na ÚV Vysoké Pole [12]



Obr. 6.4 Schéma zapojení filtru na ÚV Vysoké Pole [12]

V následující tabulce jsou uvedeny technické parametry filtru osazeného na ÚV Vysoké Pole.

Tab. 6.1 Technické parametry filtru na ÚV Vysoké pole [12]

Typ	-	GS 3072 XP2
pracovní průtok	m ³ /hod	9,4
filtrační rychlost	m/hod	20
plocha filtru	m ²	0,47
průměr filtru	mm	770
minimální rychlost praní filtru	m/hod	25
minimální průtok praní filtru	m ³ /hod	11,75
spotřeba vody na praní	m ³ /reg.	8
řídící ventil + timer	-	SIATA 360 A + XP2
potrubní připojení	vstup/výstup	dE 63 PVC
	odpad	dE 50 PVC
elektrické připojení	V/Hz/W	230 / 50 / 20
zastavovací rozměry Š x D x V	mm	900 x 1200 x 2500
provozní tlak vody	bar	2,5 - 6
provozní teplota	°C	5 - 40
maximální teplota vody	°C	30
obsah spodní vrstvy písku 0,7 - 1,2 mm	kg	150
obsah GREENSANDU	l	420
minimální pH pro separaci železa	-	6,8
minimální pH pro separaci manganu	-	7,2
maximální obsah železa v surové vodě	mg/l	3,5
maximální obsah manganu v surové vodě	mg/l	1,5

V následujících tabulkách jsou uvedeny hodnoty koncentrací železa a manganu v surové a upravené vodě.

Tab. 6.2 Koncentrace Fe a Mn v surové vodě a upravené vodě [12]

Surová voda:

Dat. odběru	pH	Fe [mg.l ⁻¹]	Mn [mg.l ⁻¹]
10.9.2010		0,35	0,49
13.9.2010		2,06	0,29
14.9.2010		1,50	0,32
15.9.2010		0,36	0,30
16.9.2010		0,74	0,30
17.9.2010		0,23	0,16
20.9.2010		0,17	0,21
22.9.2010	7,35	1,20	0,46
8.10.2010		0,27	0,29
23.11.2010	7,52	0,34	0,23
1.2.2011	7,52	0,16	0,18
12.4.2011	7,33	0,18	0,10
13.9.2011	7,47	0,20	0,24
31.1.2012	7,28	0,04	0,04
13.3.2012	7,14	0,39	<0,02
4.12.2012	7,54	0,12	0,23
19.2.2013	7,31	0,05	0,03
18.6.2013	7,24	0,03	0,09
3.12.2013	7,29	0,08	<0,02
18.2.2014	7,46	0,11	0,05
18.3.2014	7,03	0,08	0,04
16.9.2014	6,93	0,32	<0,02
3.2.2015	7,46	0,22	<0,02
31.3.2015	7,29	0,16	<0,02

Upravená voda:

Dat. odběru	pH	Fe [mg.l ⁻¹]	Mn [mg.l ⁻¹]
20.9.2010		0,09	<0,02
22.9.2010	7,63	0,10	0,06
23.11.2010	7,69	0,03	<0,02
29.11.2010		0,03	0,04
4.1.2011	7,68	0,03	<0,02
1.2.2011	7,65	0,03	<0,02
12.4.2011	7,66	0,02	0,03
19.7.2011	7,43	0,12	<0,02
13.9.2011	7,64	0,08	0,13
3.1.2012	7,52	<0,02	<0,02
31.1.2012	7,45	0,04	0,03
6.2.2012	7,54	0,12	0,10
13.2.2012		0,04	<0,02
13.3.2012	7,50	0,07	<0,02
29.8.2012		<0,02	<0,02
9.10.2012	7,43	0,06	<0,02
4.12.2012	7,66	0,04	<0,02
4.1.2013	7,37	<0,02	0,02
15.1.2013	7,51	0,02	0,02
22.1.2013	7,50	0,04	<0,02
19.2.2013	7,45	0,03	<0,02
18.6.2013	7,38	<0,02	<0,02
17.9.2013	7,27	0,03	<0,02
3.12.2013	7,45	0,05	<0,02
21.1.2014	7,42	<0,02	<0,02
18.2.2014	7,47	<0,02	<0,02
10.6.2014	7,62	<0,02	<0,02
26.8.2014	7,68	<0,02	<0,02
11.11.2014	7,45	0,02	<0,02
6.1.2015	7,38	<0,02	<0,02
3.2.2015	7,60	<0,02	<0,02
12.5.2015	7,52	<0,02	<0,02
4.8.2015	7,58	<0,02	<0,02

Z výše uvedených tabulek vyplývá, že se koncentrace železa po filtraci přes materiál Greensand ve všech případech snížila na hodnotu menší než 0,2 mg.l⁻¹, kterou udává vyhláška č. 252/2004 Sb. Koncentrace manganu po filtraci také klesla, pouze ve třech případech byla překročena mezní hodnota, která dle vyhl. č. 252/2004 Sb. činí 0,05 mg.l⁻¹.

6.1.2 Úpravna vody Pamětník

Zdroj Pamětník zásobuje vodou cca 100 obyvatel. V létě je tato lokalita rekreační zónou (rybníky). Potřebný výkon úpravní je zhruba $1,5 \text{ l.s}^{-1}$. Ve vodě je nízký obsah dusičnanů, vyšší obsah železa a manganu. [13]

Kvalita surové vody je následující:

Tab. 6.3 Vlastnosti surové vody na ÚV Pamětník [13]

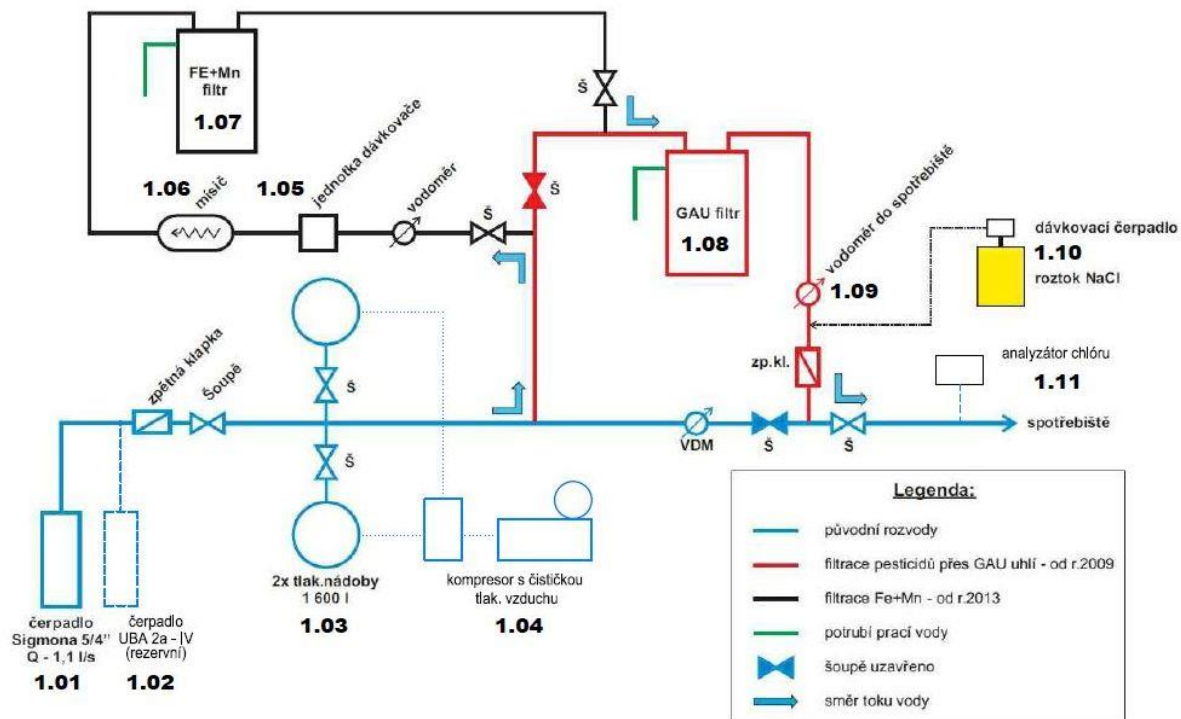
	Průměr	Maximum
Fe	$0,14 \text{ mg.l}^{-1}$	$0,4 \text{ mg.l}^{-1}$
Mn	$0,17 \text{ mg.l}^{-1}$	$0,25 \text{ mg.l}^{-1}$
Dusičnany	$2,5 \text{ mg.l}^{-1}$	
Tvrdost	$2,47 \text{ mmol.l}^{-1}$	
pH	7,1	
CHSK _{Mn}	pod mezí	

Doplnění technologie na zdroji Pamětník v průběhu času [13]:

- Podzim 2007 – objevena koncentrace pesticidu hexazinon kolem $0,5 \text{ µg/l}$, krátká hygienická výjimka na tuto hodnotu.
- Leden 2008 – narychlo instalovaná GAU filtrace (Culligan) jako dočasné řešení, než se vodovod přepojí na vodárenskou soustavu.
- Roky 2008 až 2013 – postupně dvě hygienické výjimky jako pojistka, problém s pozemky, přepojení vodovodu se ukázalo jako neprůchodné.
- Problém se zvýšenými koncentracemi Fe a Mn – zacpával se GAU filtr, zkracovaly životnost GAU, riziko překročení $0,1 \text{ µg/l}$ hexazinonu vyšší.
- Podzim 2013 – doplnění technologie odželeznění a odmanganování (Kowa Ledec n. Sázavou) a automatizace celé úpravní.
- Únor 2013 ukončení hygienické výjimky.
- Duben 2014 – rekolaudace na Úpravnu pitné vody Pamětník.



Obr. 6.5 Tlakový filtr s filtračním materiálem Greensand na ÚV Pamětník [13]



Obr. 6.6 Technologické schéma na ÚV Pamětník [13]

Tab. 6.4 Koncentrace železa a manganu v surové a upravené vodě na ÚV Pamětník [13]

	surová		za filtrem odželeznění		za filtrem GAU		sít'	
datum	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn	Fe	Mn
21.10.2013	0,085	0,20	0,032	<0,04	<0,030	<0,04	<0,030	<0,04
10.12.2013	0,080	<0,04	<0,030	<0,04	<0,030	<0,04	0,032	<0,04
6.1.2014	0,053	0,11	<0,030	<0,04	<0,030	<0,04	0,030	<0,04
4.2.2014	0,054	0,09	0,077	<0,04	<0,030	<0,04	0,032	<0,04
3.3.2014	0,071	0,06	0,043	<0,04	<0,030	<0,04	<0,030	<0,04
15.4.2014	0,06	<0,04	0,043	<0,04	0,039	<0,04	<0,030	<0,04
5.5.2014	0,049	0,15	0,033	<0,04	<0,030	<0,04	<0,030	<0,04

Z tabulky 6.4 je patrné, že koncentrace železa před i za filtrem s materiálem Greensand jsou ve všech případech menší než mezní hodnota daná vyhláškou č. 252/2004 Sb., která činí 0,2 mg.l⁻¹. Proto se těžko posuzuje účinnost filtru, co se týká odstraňování železa, avšak je zřejmé, že koncentrace železa po filtraci přes materiál Greensand ve většině případů ještě mírně klesla. Co se týká odstraňování manganu, má instalovaný filtr s materiálem Greensand vynikající účinnost. Filtrací byla ve všech případech snížena koncentrace manganu ve vodě pod hodnotu danou vyhláškou 252/2004 Sb., která činí 0,05 mg.l⁻¹. Po doplnění technologie jsou méně časté výměny GAU, větší jistota zachytu pesticidu. Koncentrace hexazinonu ve zdroji klesá – v poslední době už jen 0,15 µg/l. [13]

6.1.3 Úpravna vody Třtice

Účelem úpravy vody Třtice je odstranit z vody železo, mangan a radon, aby jejich koncentrace vyhověly požadavkům pro pitnou vodu. Na úpravě vody Třtice je použita tlaková filtrace přes filtrační materiál Greensand a voda je následně hygienicky zabezpečena chlornanem sodným. Výkon úpravy činí 2 l.s⁻¹. Půdorysná plocha úpravy vody je 10 m². [14]

Charakteristika surové vody [14]:

radon: 100 Bq/l

mangan: 0,9 – 1,1 mg/l

železo: 2 – 3 mg/l

Zahájení montáže technologie: 1. 10. 2000

Zahájení komplexních zkoušek: 1. 11. 2000

Zahájení zkušebního provozu: 22. 11. 2000

Investiční náklady na technologickou dodávku a montáž činily 700.000,- Kč. [14]

6.1.4 Úpravna vody Řitka

Účelem úpravny vody Řitka je odstranit z vody železo a mangan tak, aby jejich koncentrace vyhověly požadavkům pro pitnou vodu. Na úpravně vody Řitka je využívána stejně jako v předchozím případě tlaková filtrace přes filtrační materiál Greensand a voda je následně hygienicky zabezpečena chlornanem sodným. Výkon úpravny činí 3 l.s^{-1} . Půdorysná plocha úpravny vody je 10 m^2 . [14]

Charakteristika surové vody [14]:

mangan: $0,07 - 0,15 \text{ mg/l}$

železo: $2 - 3 \text{ mg/l}$

Zahájení montáže technologie: 1. 5. 1998

Zahájení komplexních zkoušek: 1. 6. 1998

Zahájení zkušebního provozu: 15. 6. 1998

Investiční náklady na technologickou dodávku a montáž činily 750.000,- Kč. [14]

6.1.5 Úpravna vody Věžnice

Úpravna vody Věžnice byla vybudována za účelem odstraňování železa, manganu a radonu z vody. Voda je provzdušňována na provzdušňovacím zařízení, následuje tlaková filtrace přes filtrační materiál Greensand. Následně je voda hygienicky zabezpečena chlornanem sodným. Výkon úpravny činí $1,5 \text{ l.s}^{-1}$. Půdorysná plocha úpravny je 10 m^2 . [14]

Charakteristika surové vody [14]:

radon: 50 Bq/l

mangan: $0,19 \text{ mg/l}$

železo: $1,6 \text{ mg/l}$

Zahájení montáže technologie: říjen 1999

Zahájení komplexních zkoušek: listopad 1999

Zahájení zkušebního provozu: listopad 1999

Investiční náklady na technologickou dodávku a montáž činily 360.000,- Kč. [14]

6.2 VYUŽITÍ FILTRAČNÍHO MATERIÁLU BIRM

6.2.1 Úpravna vody Sudslava

V obci Sudslava je vybudován skupinový vodovod Sudslava – Seč, jehož vlastníkem a provozovatelem je společnost Vodovody a kanalizace Jablonné nad Orlicí, a.s.. Skupinový

vodovod zásobuje pitnou vodou obyvatele a ostatní odběratele v obcích Sudslava a Seč. S ohledem na nedostatečnou vydatnost stávajících jímacích objektů a problémovou jakost jímané vody, byl v souladu s Plánem rozvoje vodovodů a kanalizací vybudován na jaře roku 2010 nový zdroj podzemní vody. Jedná se o vrt SV-1 o hloubce 82 metrů s maximální vydatností $1,5 \text{ l.s}^{-1}$. [15]

Vzhledem k tomu, že podzemní voda z nového vrtu SV-1 a z původního vrtu S-1 geneticky pochází z kolektoru B, který je znám mírně zvýšenou koncentrací železa a k tomu, že po dokončení vrtu SV-1 byla prokázána náhodná vysoká koncentrace železa v surové vodě, bylo přistoupeno k doplnění technologie úpravy vody na tomto vodovodu. [15]



Obr. 6.7 Úpravna vody Sudslava [zdroj: Ilona Ševčíková]

Průměrný denní odběr vody tekoucí přes úpravnu činí $0,65 \text{ l.s}^{-1}$. Úpravna vody je v provozu 11 až 15 hodin denně. Průměrná koncentrace železa z 13 odebraných vzorků surové vody je $0,455 \text{ mg.l}^{-1}$. Praní filtrů probíhá 1 x za 2 až 3 dny cca $1,7 \text{ m}^3$ vody. Předpokládaná koncentrace železa v prací vodě činí cca $5,5 \text{ mg.l}^{-1}$. [15]



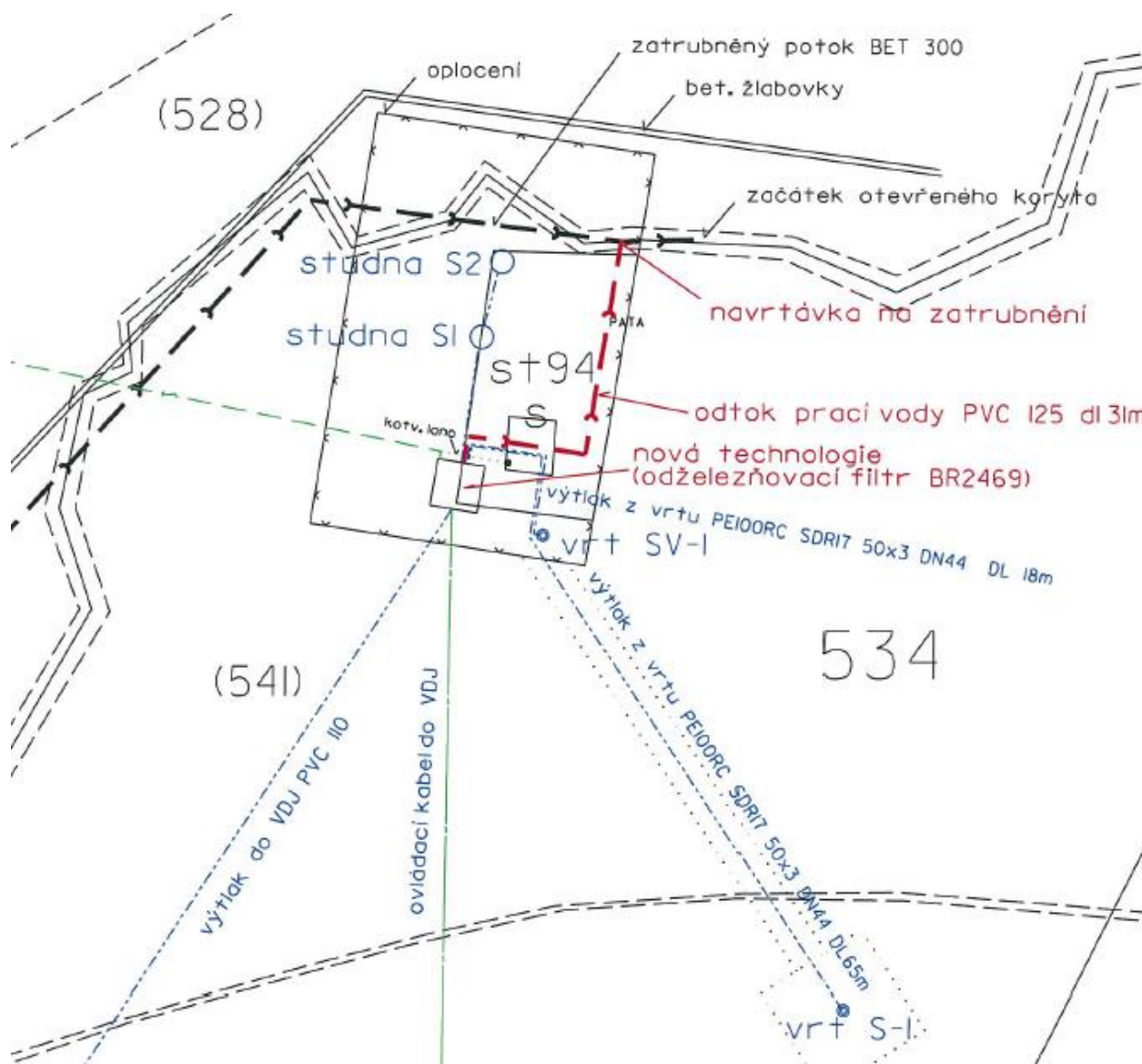
Obr. 6.8 Pohled na technologii ÚV Sudslava – vpravo osazen filtr s materiálem Birm [zdroj: Ilona Ševčíková]

Byla navržena a realizována úprava vody, která je určena k průtočnému odstraňování železa z vody čerpané z vrtů SV-1 a S-1 za účelem snížit obsah železa dle normy pro pitnou vodu. Jednotlivé výtlaky včetně stávajícího jsou osazeny samostatnými vodoměry s impulsními snímači. Za měření jsou výtlaky z vrtů SV-1 a S-1 spojeny do jednoho potrubí (surová voda). Na odbočce ze společného potrubí je umístěna tlaková nádoba o objemu 750 l. [15]

Surová voda dále protéká provzdušňovací nádobou, do které je přívod tlakového vzduchu z kompresoru (tlak vzduchu 4,7-5 baru) a dochází ke zdržení a zreagování. V nejvyšší části nádoby je osazen automatický vzdušník pro odvod přebytečného vzduchu. Výstupní potrubí je umístěno ve spodní části pod přívodem vzduchu a pokračuje přes regulační ventil, optický průtokoměr a lapač nečistot do řídicího ventilu Siata a dál do odželezovacího filtru BR 2469. [15]

Provoz filtru je automatický, to znamená, že je v pravidelných intervalech prán upravenou vodou z výtlaku do vodojemu. Filtr je řízen programovatelnou jednotkou XP2. Náplň filtru je tříděný vodárenský písek, Birm. Provozní tlak v systému je pomocí tlakových spínačů s PLC automaticky udržován v rozmezí 4–5 baru. Pro případ překročení tlaku v systému je instalován na potrubí surové vody pojišťovací ventil (5,5 barů) s odtokem do odpadního potrubí. Za filtrem je umístěno čerpadlo, které upravenou vodu dopravuje do vodojemu. [15]

Přítok prací vody otevírá elektroventil, odblokovaný jednotkou XP2 a řízený PLC automatem, za ventilem je umístěno škrtkové nerezové potrubí DN 20. Voda z praní je vypouštěna potrubím PVC 125 do přilehlého zatrubněného recipientu LP2 Brodec. Místo zaústění je ve stávajícím oploceném prostoru. [15]



Obr. 6.9 Situační schéma nové technologie na ÚV Sudslava [15]

6.3 VYUŽITÍ FILTRAČNÍHO MATERIÁLU SEMIDOL

Dle informací poskytnutých různými dodavateli filtračních materiálů se Semidol v praxi k odželezování a odmanganování vůbec nevyužívá. Proto je zde jako příklad využití Semidolu uvedena úprava vody, na které se Semidol využívá k odkyselování.

6.3.1 Úprava vody Rožnov pod Radhoštěm

Technologie úpravy vody byla navržena pro stávající kvalitu surové podzemní vody a možné negativní ovlivnění řadou vlivů, které byly v minulosti sledovány. Jedná se zejména o ovlivnění řekou Bečvou v době povodňových stavů. Úprava vody Rožnov pod Radhoštěm zabezpečuje poměrnou část pitné vody (cca 33 l.s⁻¹) pro část města Rožnov pod Radhoštěm, a to po celou část roku, dále místní části Tylovice, Hážovice a obce Vigantice, Hutisko-Solanec. [10, 11]

Z úpravny vody je zásobeno cca 9 161 obyvatel. Výkon úpravny je navržen na 35 l.s^{-1} s možností maximálního výkonu 50 l.s^{-1} . [10, 11]

Navržená úprava vody sestává z pískové filtrace, filtrace s náplní GAU, odkyselování a alkalizací na filtrech s náplní polovypáleného dolomitu PVD (Semidol K2). Hygienické zabezpečení upravené vody je řešeno UV zářičem a dávkováním malých dávek chlordioxidu. Filtrace nebude sloužit pro odželezování a odmanganování, protože obsah železa a manganu v surové vodě je v normě. [10]

Filtrace s náplní Semidol K2 je navržena pro odkyselování a alkalizaci vody. Voda ukazuje nízkou alkalitu (kolem $1 \text{ mmol.l}^{-1} \text{ H}^+$) a nízkou hodnotu pH (pod 7). Navíc se voda obohatí kromě Ca hlavně o Mg, který se ve vodě vyskytuje pod požadovanou minimální koncentrací 10 mg.l^{-1} . Návrh technologie byl přizpůsoben stávajícímu objektu úpravny vody. [10]

7 EXPERIMENTÁLNÍ ODSTRANĚNÍ ŽELEZA A MANGANU

Cílem experimentálního měření bylo posouzení účinnosti odstranění železa a manganu z vody při filtraci surové vody přes různé filtrační materiály. Přírodní zdroje pitné vody často obsahují zvýšené koncentrace železa a manganu, které překračují jejich limitní koncentrace v pitné vodě, jež jsou dány vyhláškou č. 252/2004 Sb. Z tohoto důvodu je nutné najít další způsoby, jak docílit snížení koncentrace železa a manganu v pitné vodě.

Měření bylo prováděno na Fakultě stavební VUT v Brně v laboratoři Ústavu vodního hospodářství obcí.

7.1 ÚČEL EXPERIMENTU

Experiment byl zaměřen na porovnání tří filtračních materiálů (Greensand, Birm, Semidol). První materiál se k odstraňování železa a manganu z vody využívá v praxi běžně, druhý materiál se pro tyto účely využívá ve velmi omezené míře a u třetího materiálu není účinnost odstraňování železa a manganu z vody známa a materiál se využívá pro jiné účely, jako jsou např. odkyselování, ztvrdování vody atd.

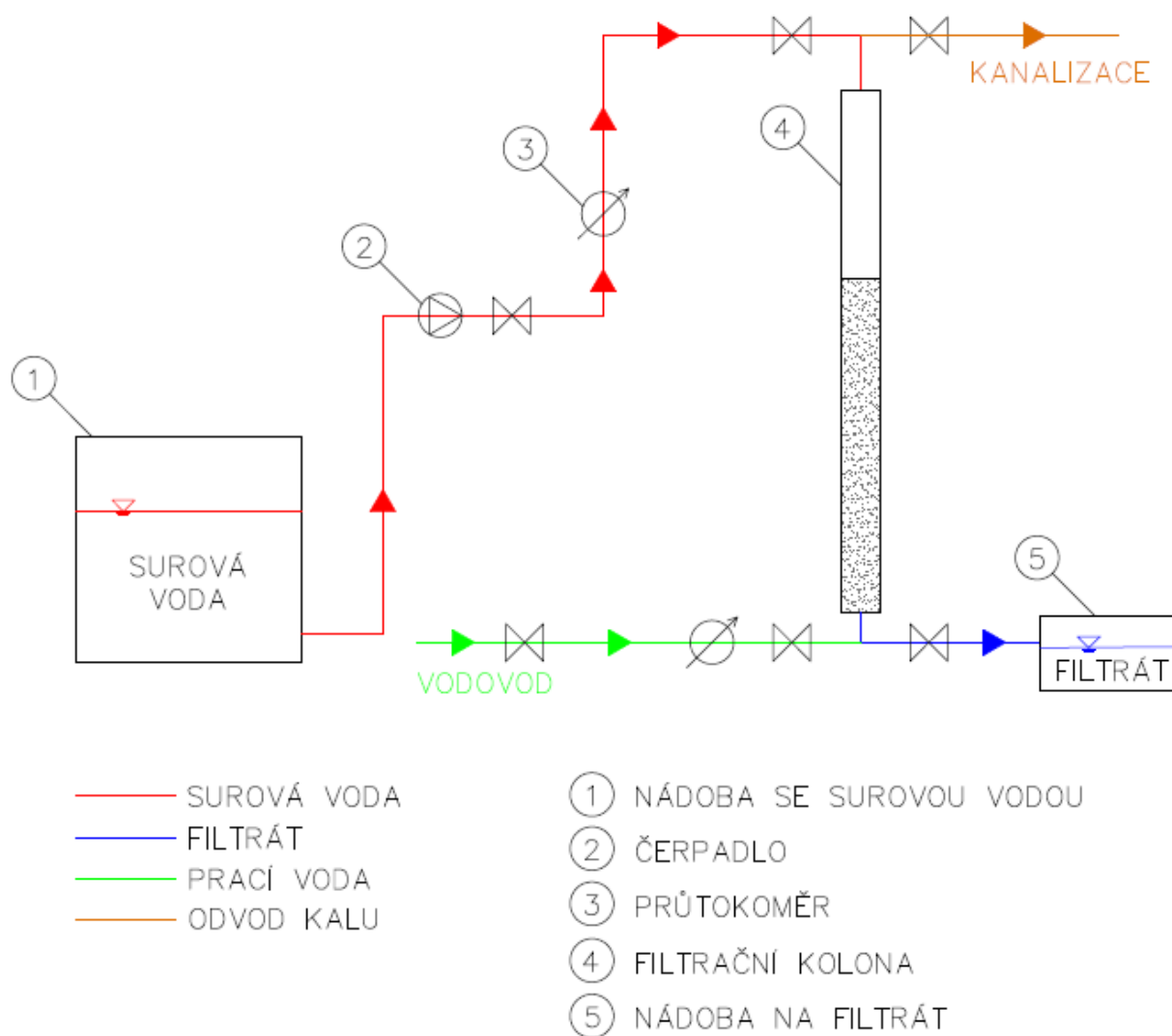
7.2 POSTUP MĚŘENÍ

7.2.1 Popis filtračního zařízení

Celé filtrační zařízení se skládalo z nádoby se surovou vodou, čerpadla, průtokoměru, filtrační kolony a nádoby na filtrát. Uspořádání jednotlivých částí filtračního systému je uvedeno na obrázku 7.1. Pro názornost je za obrázkem 7.1 se schématem uspořádání jednotlivých částí filtračního systému umístěn obrázek 7.2, ze kterého je patrné, jak zapojení filtračních kolon vypadalo ve skutečnosti během experimentu (na obrázku je zapojena filtrační kolona s materiálem Semidol).

Při samotném měření se surová voda čerpala přes průtokoměr na filtrační kolonu. Na průtokoměru se nastavovaly různé hodnoty průtoku, aby se docílilo různé doby zdržení vody v koloně. Z filtrační kolony již odtékala upravená voda, v níž se následně provádělo stanovení koncentrace železa a manganu.

Při měření byla použita surová voda se zvýšenou koncentrací železa a manganu. Tato voda však nebyla odebrána přímo ze zdroje, ale byla uměle simulována. Jednalo se o pitnou vodu, do níž se přidaly chemické koncentráty kovů, a tím bylo dosaženo jejich zvýšené koncentrace ve vodě.



Obr. 7.1 Schéma zapojení filtračního zařízení [zdroj: Ilona Ševčíková]



Obr. 7.2 Zapojení filtračního zařízení během experimentu [zdroj: Ilona Ševčíková]

7.2.2 Příprava filtračních kolon

Pro účely měření byly k dispozici tři filtrační materiály. Jednalo se o materiály Birm, Greensand a Semidol. Materiály bylo třeba nejprve nachystat do filtračních kolon, kde přes ně byla následně filtrována surová voda.

Filtrační kolony tvořily skleněné trubice o vnitřním průměru 4,4 cm. Ve spodní části trubice bylo osazeno plastové koleno s regulačním ventilem. Aby se při filtraci zabránilo unikání sypkého filtračního materiálu, byla do trubice nejprve nasypána drenážní vrstva, která byla tvořena materiály o různé velikosti částic. Nejprve bylo do trubice nasypáno několik kamenů o průměru 1 – 2 cm, poté byla do trubice nasypána vrstva skleněných kuliček o průměru 4 mm a nakonec vrstva skleněných kuliček o průměru 2 mm.

Na tuto drenážní vrstvu byla nasypána filtrační náplň o výšce 0,8 m. Zbylou část trubice vyplňovala voda a její horní část byla utěsněna plastovým uzávěrem s regulačním ventilem. Jednotlivé filtrační kolony byly připevněny na zeď vedle sebe.

Filtrační materiál Greensand bylo po nasypání do filtrační kolony potřeba zregenerovat manganistanem draselným, neboť ho výrobce dodává v nezregenerované formě. Dle údajů uvedených výrobcem jsou k regeneraci potřeba 4 g manganistanu draselného na každý litr filtrační náplně. Při experimentu bylo použito celkem 10 g manganistanu v práškové formě, který byl rozmíchán ve vodě. Část roztoku byla do filtrační kolony nalita ručně pomocí hadice (v době regenerace materiálu Greensand manganistanem už byl na horní části kolony osazen plastový uzávěr s regulačním ventilem). Vzhledem k obtížné manipulaci s hadicemi byl zbytek manganistanu rozmíchán ve větším množství vody a roztok byl do filtrační kolony načerpán čerpadlem. Regenerace materiálu Greensand manganistanem trvala několik dní, následně byl roztok manganistanu draselného vypuštěn a následovalo praní filtru a zafiltrování.



Obr. 7.3 Příprava roztoku manganistanu draselného [zdroj: Ilona Ševčíková]



Obr. 7.4 Napouštění manganistanu draselného do filtrační kolony [zdroj: Ilona Ševčíková]



Obr. 7.5 Regenerace Greensandu manganistanem draselným [zdroj: Ilona Ševčíková]

Pro správnou funkci bylo třeba všechny tři filtrační materiály před započetím experimentu vyprat a zafiltrovat. Praní bylo prováděno změnou směru průtoku na průtok zdola nahoru, prací rychlost byla zvolena experimentálně taková, aby nedocházelo k vyplavování materiálu ven z filtrační kolony a praní trvalo tak dlouho, dokud z filtru nezačala odtékat čistá voda. Pro praní i zafiltrování byla použita voda z vodovodu, která byla poté odváděna do kanalizace.

7.2.3 Stanovení experimentálních parametrů

Před zahájením samotného experimentu bylo třeba stanovit potřebné parametry k docílení rozdílné doby zdržení ve filtrech. K tomu bylo zapotřebí stanovit množství vody k filtraci, průtočné množství v koloně při filtraci a dobu zdržení vody ve filtru.

Výchozí hodnoty společné pro všechny filtry byly následující:

Vnitřní průměr kolony: 4,4 cm

Plocha kolony: 15,20 cm²

1) Výpočet objemu vody v koloně

$$V_v = V_p = V_c \cdot n \text{ [m}^3\text{]},$$

kde: V_v objem vody [m³]

V_p objem pórů [m³]

V_c objem celkem [m³]

n pórovitost [-]

Tab. 7.1 Parametry kolony

Materiál	Birm	Greensand	Semidol
Pórovitost n [%]	63	43	14,3
Výška náplně h [m]	0,8	0,8	0,8
Celkový objem V_c [m ³]	0,00122	0,00122	0,00122
Objem vody V_v [m ³]	0,00077	0,00052	0,00017

Pórovitost u materiálů Birm a Greensand výrobce neuvádí, proto byla stanovena výpočtem ze specifické a objemové hmotnosti.

2) Výpočet průtoku pro dobu zdržení

$$Q = V / t \text{ [m}^3\text{/min]},$$

kde: Q průtok filtrátu [m³/min]

V objem vody [m³]

t doba zdržení [min]

Doby zdržení byly zvoleny 0,5 minuty, 1 minuta, 2 minuty, 4 minuty a 8 minut, aby byla posouzena efektivnost sorpce filtračních materiálů při různé průtočné rychlosti.

Tab. 7.2 Průtoky dle doby zdržení

Materiál	Birm		Greensand		Semidol	
t [min]	Q [m³/min]	Q [l/hod]	Q [m³/min]	Q [l/hod]	Q [m³/min]	Q [l/hod]
0,5	0,00153	91,96	0,00105	62,77	0,00035	20,87
1	0,00077	45,98	0,00052	31,38	0,00017	10,44
2	0,00038	22,99	0,00026	15,69	0,00009	5,22
4	0,00019	11,50	0,00013	7,85	0,00004	2,61
8	0,00010	5,75	0,00007	3,92	0,00002	1,30

Výrobce produktu Birm doporučuje provozní průtok 9 až 13 m³.h⁻¹.m⁻², což je po přepočtu na námi použitou filtrační plochu 13,7 až 19,8 l.hod⁻¹. Výrobce materiálu Greensand uvádí provozní průtok 7 až 15 m³.h⁻¹.m⁻², což je po přepočtu 10,6 až 22,8 l.hod⁻¹. U materiálu Semidol je uvedena pouze doporučená filtrační rychlost 8 až 12 m.hod⁻¹, což odpovídá cca 12,2 až 18,3 l.hod⁻¹.

Vzhledem k rozsahu používaného průtokoměru (od 10 l.s⁻¹ do 100 l.s⁻¹) by nebylo možné přesně změřit nízké průtoky při větších dobách zdržení. Zároveň se některé vypočítané průtoky výrazně liší od průtoků doporučených dodavateli materiálů. Proto byl experiment nakonec proveden při průtocích vyhovujících mezním hodnotám stanoveným dodavateli materiálů a voda se odebírala v časových intervalech 0,5 minuty, 1 minuta, 2 minuty, 4 minuty a 8 minut. Časové intervaly byly měřeny pomocí stopek.

7.2.4 Filtrace

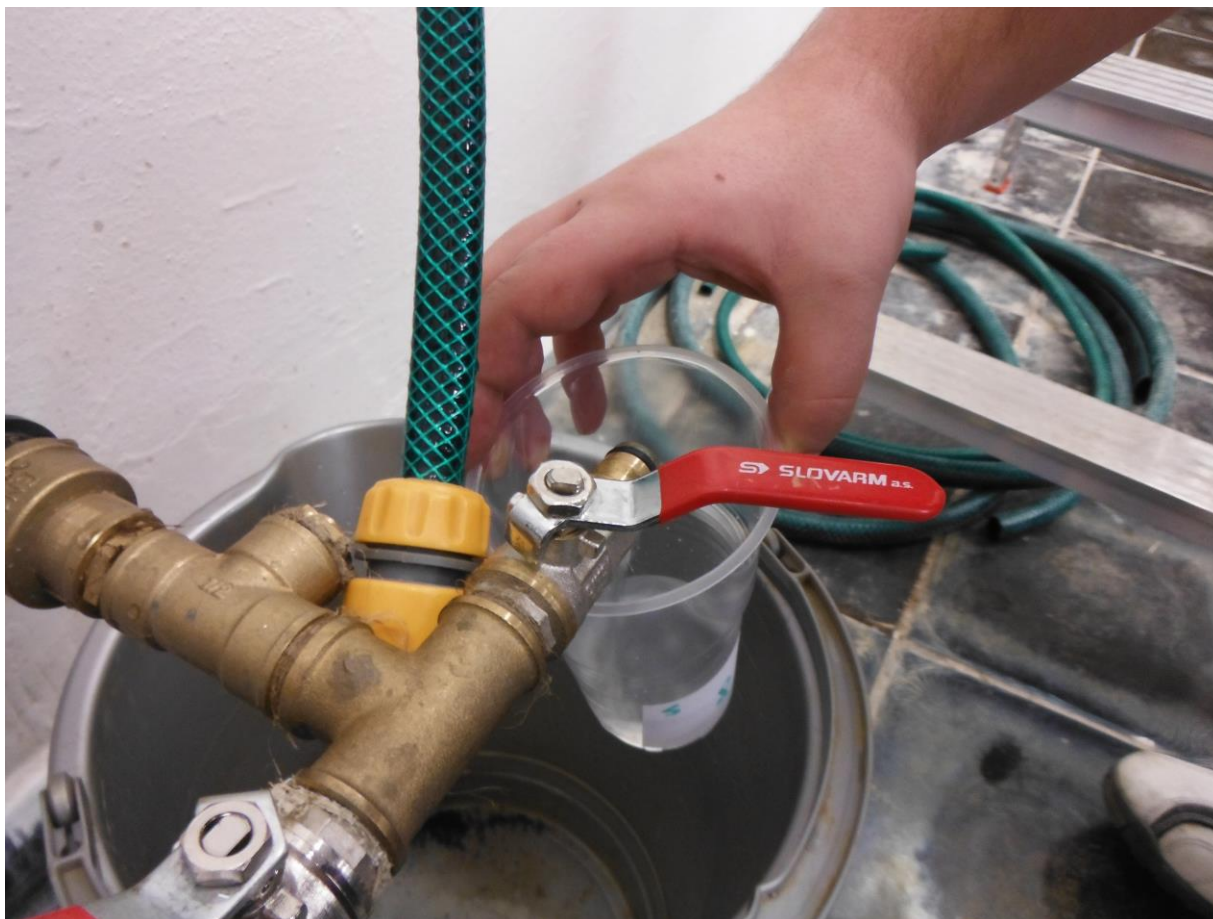
Jako surová voda pro filtraci byla použita pitná voda z brněnského městského vodovodu, do níž byly přidány koncentráty železa a manganu. Oba koncentráty obsahovaly jednotlivé kovy v koncentraci 1000 mg.l⁻¹. Do nádoby se surovou vodou o objemu 30 l bylo přidáno cca 50 ml roztoku železa a 9 ml roztoku manganu. Tím mělo být ve výsledném roztoku dosaženo koncentrace železa 1,67 mg.l⁻¹ a manganu 0,3 mg.l⁻¹. Tyto hodnoty několikanásobně převyšují limitní koncentraci stanovenou pro pitnou vodu, aby byla účinnost filtračních materiálů dobře pozorovatelná.



Obr. 7.6 Koncentráty železa a manganu k výrobě modelové vody [zdroj: Ilona Ševčíková]

Před samotnou filtrací přes jednotlivé materiály se vždy z kolony vypustila voda, aby se přes materiál filtrovala pouze surová voda a nedošlo k ovlivnění výsledků pokusu. Filtrační zařízení pracovalo dle schématu na obrázku. Pro správné nastavení filtrace a doby zdržení byl použit průtokoměr se škrtkicí tryskou pro jemnou regulaci průtoku. Rozsah stupnice průtokoměru byl od 10 l.hod^{-1} do 100 l.hod^{-1} .

Při filtraci se surová voda čerpala do jednotlivých kolon. Průtok byl regulován průtokoměrem. Při určitém průtoku byl vždy odebrán vzorek upravené vody pro rozbor. Z každé kolony bylo odebráno celkem pět vzorků. Poté se provádělo měření na další koloně. Takto bylo získáno celkem patnáct vzorků upravené vody. Odebrán byl také vzorek vody surové.



Obr. 7.7 Odebírání vzorků upravené vody [zdroj: Ilona Ševčíková]

Během filtrace byly dodrženy podmínky výrobců adsorpčních materiálů na maximální průtok a pH, jelikož se jednalo o vodu z vodovodu a její pH bylo 7,56. Byla dodržena i minimální doporučená výška náplně, kterou udává výrobce. Ta se pohybuje mezi 0,75 a 0,8 m (u Semidolu pro uzavřený filtr 1,5 m). Tyto hodnoty jsou stanoveny výrobcem pro reálný filtr, pro účely pokusu byla zvolená výška 0,8 m plně dostačující.



Obr. 7.8 Odebrané vzorky upravené vody [zdroj: Ilona Ševčíková]

7.2.5 Měření výsledků

Ve vzorcích upravené a surové vody byly stanoveny hodnoty teploty, pH, zákalu, koncentrace železa a manganu. Pro určení pH byl použit digitální pH metr. Ke zjištění hodnoty zákalu sloužil přenosný turbidimetr. Koncentrace železa a manganu byly měřeny pomocí spektrofotometru.



Obr. 7.9 Pipeta používaná k dávkování chemikálií [zdroj: Ilona Ševčíková]



Obr. 7.10 pH metr s vestavěným teploměrem [zdroj: Ilona Ševčíková]



Obr. 7.11 Turbidimetr – měření zákalu [zdroj: Ilona Ševčíková]



Obr. 7.12 Spektrofotometr – měření koncentrace Fe a Mn [zdroj: Ilona Ševčíková]

V případě železa se do nulovací kyvety (kyveta bez reaktantu) odpipetuje 5 ml destilované vody a kyveta se uzavře. Poté se do kyvety s reaktantem odpipetuje 5 ml vzorku, kyveta se zavře, protřepe a roztok se nechá 10 minut odstát. Jakmile uplyne 10 minut, vloží se do přístroje nulovací kyveta s destilovanou vodou a zmáčkne se tlačítko Nulovat. Následně se nulovací kyveta vymění za kyvetu se vzorkem a zmáčkne se tlačítko Načítat. Na displeji se poté zobrazí koncentrace železa v měřeném vzorku.



Obr. 7.13 Testy pro určení koncentrace Fe ve vodě [zdroj: Ilona Ševčíková]



Obr. 7.14 Měření koncentrace železa ve vodě (vlevo kyveta s reaktantem, vpravo nulovací kyveta) [zdroj: Ilona Ševčíková]

V případě měření koncentrace manganu je postup složitější. Do první uzavíratelné zkumavky se odpipetuje 10 ml destilované vody a přidají se 3 reaktanty. Do druhé uzavíratelné zkumavky se odpipetuje 10 ml vzorku a přidají se 3 reaktanty. Zkumavky se uzavřou, roztoky se protřepou a nechají 2 minuty odstát. Po dvou minutách se stejně jako v předchozím případě musí přístroj vynulovat (k tomu slouží zkumavka s roztokem vyrobeným z destilované vody) a následně se změří koncentrace železa ve vzorku. Před měřením musí být zkumavky ořeny látkou, aby nedošlo k ovlivnění měření nečistotami na jejich povrchu.



Obr. 7.15 Měření koncentrace manganu ve vodě [zdroj: Ilona Ševčíková]

7.3 VÝSLEDKY ROZBORŮ VODY

V následujících tabulkách jsou uvedeny výsledky rozborů pro surovou (modelovou) vodu a pro vodu po filtraci přes materiály Greensand, Birm a Semidol. Byly měřeny koncentrace železa, manganu a hodnoty zákalu, pH a teploty v předem stanovených časových intervalech.

Tab. 7.3 Výsledky rozboru pro surovou vodu

Surová voda					
čas [min]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]	zákal [ZF]	pH [-]	teplota [°C]
0	1,800	0,376	3,02	7,56	15,0

Tab. 7.4 Výsledky rozboru pro materiál Birm

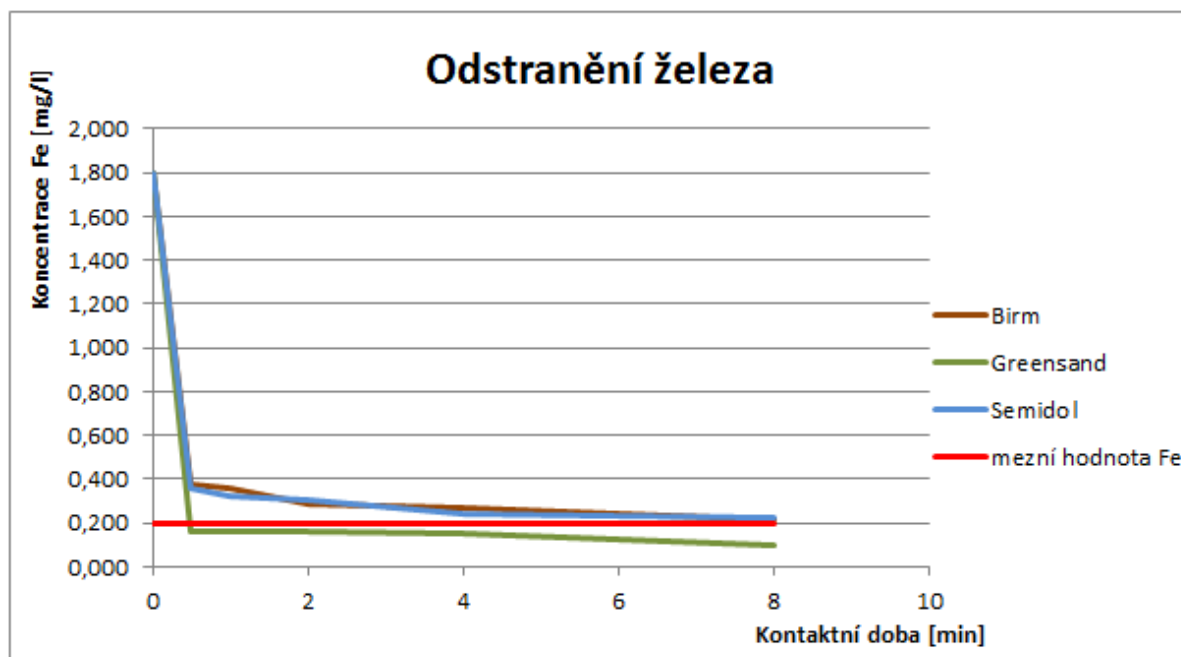
Birm					
čas [min]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]	zákal [ZF]	pH [-]	teplota [°C]
0	1,800	0,376	3,02	7,56	15,0
0,5	0,377	0,194	7,16	7,69	19,3
1	0,356	0,065	4,43	7,68	19,1
2	0,286	0,019	1,30	7,64	17,8
4	0,266	0,012	1,07	7,61	16,7
8	0,218	0,008	0,87	7,52	16,7

Tab. 7.5 Výsledky rozboru pro materiál Greensand

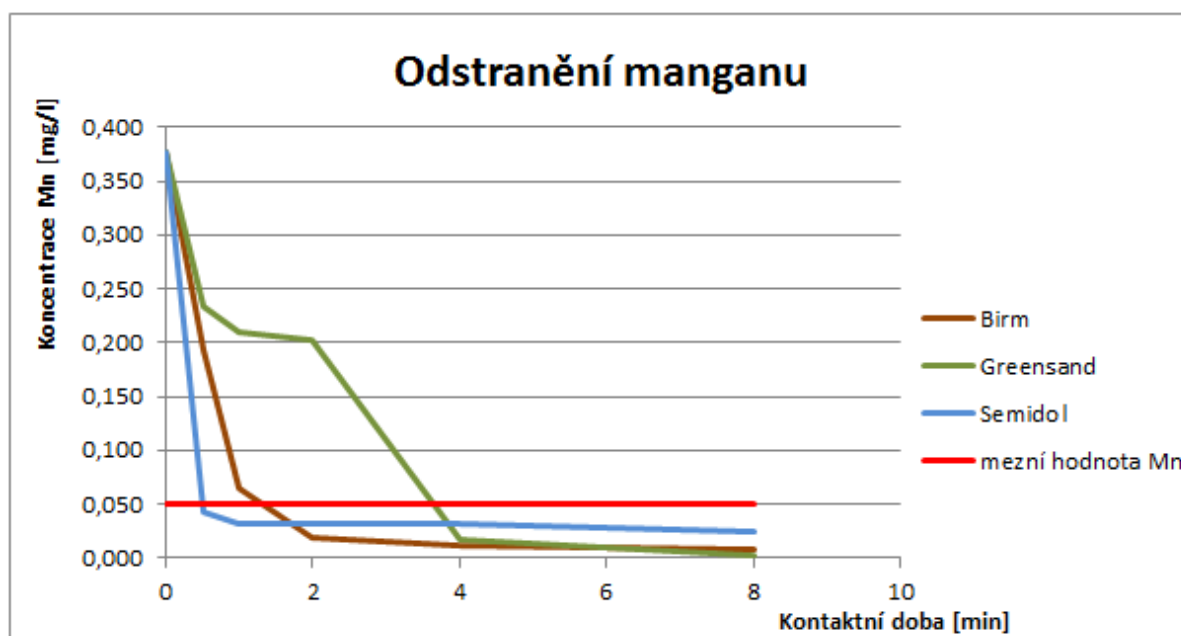
Greensand					
čas [min]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]	zákal [ZF]	pH [-]	teplota [°C]
0	1,800	0,376	3,02	7,56	15,0
0,5	0,164	0,233	4,12	7,55	19,8
1	0,160	0,209	2,17	7,55	19,9
2	0,159	0,202	1,54	7,54	18,5
4	0,151	0,017	1,19	7,50	16,7
8	0,098	0,003	0,97	7,47	15,9

Tab. 7.6 Výsledky rozboru pro materiál Semidol

Semidol					
čas [min]	Fe [mg/l]	Mn [mg/l]	zákal [ZF]	pH [-]	teplota [°C]
0	1,800	0,376	3,02	7,56	15,0
0,5	0,358	0,042	2,93	8,74	20,1
1	0,319	0,032	1,66	8,75	19,7
2	0,302	0,031	1,32	8,67	18,6
4	0,241	0,032	1,31	8,67	17,8
8	0,220	0,025	0,92	8,66	17,7



Obr. 7.16 Účinnost filtračních materiálů při odstraňování železa [zdroj: Ilona Ševčíková]



Obr. 7.17 Účinnost filtračních materiálů při odstraňování manganu [zdroj: Ilona Ševčíková]

Z výsledků rozboru je patrné, že při odstraňování železa byl nejúčinnější materiál Greensand. Při použití tohoto materiálu bylo již při době zdržení 30 sekund sníženo množství železa v surové vodě na hodnotu $0,164 \text{ mg.l}^{-1}$, což je hodnota menší než hodnota $0,2 \text{ mg.l}^{-1}$, kterou udává vyhláška 252/2004 Sb. pro pitnou vodu. Při delší době zdržení koncentrace železa dále klesá, až na hodnotu $0,098 \text{ mg.l}^{-1}$ při době zdržení 8 minut. Při odstraňování manganu materiál Greensand dopadl také velmi dobře. Při době zdržení 8 minut se podařilo dostat na

koncentraci manganu $0,003 \text{ mg.l}^{-1}$, přičemž vyhláška 252/2004 Sb. udává pro pitnou vodu hodnotu $0,05 \text{ mg.l}^{-1}$. Z toho plyne, že hodnota koncentrace manganu v upravené vodě je několikanásobně menší, než udává vyhláška. Z grafu lze vyčíst, že pro odstranění manganu na mez udávanou vyhláškou byla potřeba doba zdržení necelé 4 minuty.

Materiály Birm a Semidol dopadly, co se týká odstraňování železa z vody, také obstojně. Prokazatelně se obsah železa ve vodě snížil, avšak ani u jednoho z materiálů se ani při době zdržení 8 minut nepodařilo snížit hodnotu koncentrace železa pod hodnotu udávanou vyhláškou 252/2004 Sb. I když při době zdržení 8 minut už byly výsledky velmi blízké hodnotě udávané vyhláškou a lze očekávat, že při delší době zdržení než 8 minut by hodnoty koncentrace železa ve vodě mohly vyhlášce vyhovět.

Co se týká odstraňování manganu, si materiály Birm a Semidol vedly mnohem lépe, než při odstraňování železa. Při filtraci přes materiál Birm byla při době zdržení 8 minut zjištěna koncentrace manganu $0,008 \text{ mg.l}^{-1}$ a u materiálu Semidol $0,025 \text{ mg.l}^{-1}$, což jsou hodnoty vyhovující vyhlášce. U materiálu Semidol se podařilo dostat na hodnotu $0,05 \text{ mg.l}^{-1}$, kterou uvádí vyhláška při době zdržení 0,5 minut a u Birmu při době zdržení menší než 2 minuty.

Z výše uvedeného vyplývá, že v rámci tohoto experimentu se ukázal jako prokazatelně nejlepší filtrační materiál Greensand, který jako jediný snížil koncentraci železa ve vodě pod hodnotu uvedenou ve vyhlášce. Další dva materiály při odstraňování železa za materiálem Greensand silně zaostávaly. I když s manganem si dokázaly poradit velmi dobře všechny tři materiály, nízká účinnost Birmu a Semidolu při odstraňování železa může být příčinou jejich řídkého využívání v praxi.

Při filtraci přes materiál Birm se hodnoty pH mírně zvýšily a po 8 minutách klesly až pod původní hodnotu, při filtraci přes materiál Greensand hodnoty pH kontinuálně klesaly dolů až na hodnotu 7,47 po 8 minutách. Při filtraci vody přes materiál Semidol se prokázalo zvýšení hodnoty pH ve vodě až na hodnotu 8,66, což podporuje tvrzení, že je tento materiál používán spíše pro odkyselování vody. Hodnota zákalu v surové vodě byla 3,02 ZF. Na začátku testování, tj. v čase 0,5 minut byl zákal větší, což může být způsobeno zviřením materiálu při napouštění kolony, ale v dalších časech je již vidět, že všechny tři materiály odstraňují zákal hluboko pod hodnotu vyhlášky č. 252/2004 Sb., která činí 5 ZF.

8 ZÁVĚR

Zvýšený obsah železa ve vodě negativně ovlivňuje její organoleptické vlastnosti, zejména barvu, chuť a zákal. Chuť je ovlivňována až při koncentraci 0,5 až 1,5 mg.l⁻¹, avšak i malé koncentrace železa ve vodě mohou způsobovat nadměrný rozvoj železitých bakterií, které zanáší potrubí a způsobují pach vody. Z těchto důvodů je vyhláškou č. 252/2004 Sb. stanovena mezní hodnota pro koncentraci železa v pitné vodě (0,2 mg.l⁻¹).

Mangan, podobně jako železo, také ve vyšších koncentracích zhoršuje organoleptické vlastnosti vody, způsobuje technické závady při transportu vody a činí vodu nepoužitelnou pro průmyslové účely. Z těchto důvodů je vyhláškou č. 252/2004 Sb. stanovena mezní hodnota i pro koncentraci manganu v pitné vodě, a to 0,05 mg.l⁻¹.

Protože v surové vodě bývají tyto hodnoty často překročeny, musí se voda odželezovat a odmanganovat. Způsoby, kterými lze železo a mangan z vody odstranit jsou např. provzdušňování, alkalizace, oxidace (ozon, chlor, manganistan draselný, peroxid vodíku), odželezování a odmanganování v horninovém prostředí, iontová výměna, biologická cesta, koagulace a v poslední době kontaktní filtrace.

Kontaktní odželezování a odmanganování se provádí na preparovaných píscích působením vyšších oxidů manganu. Nejprve probíhá sorpce iontů a ty se pak dále oxidují. Písky preparované vyššími oxidy manganu sorbují nejen ionty Mn²⁺ a Fe²⁺, ale i ionty těžkých kovů, radioaktivní látky a amonné ionty. Příkladem materiálů využívaných pro kontaktní odželezování a odmanganování jsou především hmoty Greensand a Cullisorb M.

V rámci zpracování diplomové práce bylo osloveno několik dodavatelů filtračních materiálů a byly získány následující informace o praktickém využití materiálů Birm, Greensand a Semidol.

V praxi se k odželezování a odmanganování z těchto třech materiálů nejvíce využívá filtrační materiál Greensand. Bylo zjištěno hned několik úpraven vody, kde je tento materiál instalován. Jsou to např. úpravní vody Vysoké Pole, Pamětník, Třtice, Řitka, Věžnice. Úpravna vody Vysoké Pole byla v rámci zpracování diplomové práce navštívena.

Výrazně méně často se pro odstraňování železa a manganu využívá filtrační materiál Birm, avšak na úpravě vody Sudslava (Pardubický kraj), která byla v rámci zpracování diplomové práce navštívena, mají s tímto materiálem dobrou zkušenost.

Filtrační materiál Semidol se dle všech oslovených dodavatelů k danému účelu (odstraňování železa a manganu) v praxi vůbec nepoužívá. Semidol se používá převážně k odkyselování či ztvrzování vody.

Filtrační materiály Greensand, Birm a Semidol jsou využívány převážně na malých úpravách vody, nebyla zjištěna žádná výrazně větší úpravna vody, která by tyto materiály využívala. Jako perspektivní se dle společnosti Culligan CZ s.r.o. jeví filtrační materiál Cullisorb M.

Součástí diplomové práce bylo experimentální odstranění železa a manganu z vody. Cílem experimentálního měření bylo posouzení účinnosti odstranění železa a manganu z vody při filtraci přes různé filtrační materiály, a to přes Greensand, Birm a Semidol.

Měření bylo prováděno na Fakultě stavební VUT v Brně v laboratoři Ústavu vodního hospodářství obcí. Celé filtrační zařízení se skládalo z nádoby se surovou vodou, čerpadla, průtokoměru, filtrační kolony a nádoby na filtrát. Při samotném měření se surová voda čerpala přes průtokoměr na filtrační kolonu. Na průtokoměru se nastavovaly různé hodnoty průtoku a doby zdržení byly měřeny pomocí stopek. Z filtrační kolony již odtékala upravená

voda, v níž se následně provádělo stanovení koncentrace železa a manganu. Při měření byla použita surová voda se zvýšenou koncentrací železa a manganu. Tato voda však nebyla odebírána přímo ze zdroje, ale byla uměle simulována. Jednalo se o pitnou vodu, do níž se přidaly chemické koncentráty kovů, a tím bylo dosaženo jejich zvýšené koncentrace ve vodě.

Ve vzorcích upravené a surové vody byly stanoveny hodnoty teploty, pH, zákalu, koncentrace železa a manganu. Pro určení pH byl použit digitální pH metr. Ke zjištění hodnoty zákalu sloužil přenosný turbidimetr. Koncentrace železa a manganu byly měřeny pomocí spektrofotometru.

V rámci tohoto experimentu se ukázal jako prokazatelně nejlepší filtrační materiál Greensand, který jako jediný snížil koncentraci železa ve vodě pod hodnotu uvedenou ve vyhlášce. Další dva materiály při odstraňování železa za materiálem Greensand silně zaostávaly. Ani při době zdržení 8 minut se nepodařilo snížit koncentraci železa ve vodě pod hodnotu stanovenou vyhláškou, i když rozdíl už byl minimální. S manganem si dokázaly poradit velmi dobře všechny tři materiály, např. při použití materiálu Semidol se podařilo dostat na hodnotu $0,05 \text{ mg.l}^{-1}$, kterou uvádí vyhláška už při době zdržení 30 sekund. U Birmu při době zdržení menší než 2 minuty. Nízká účinnost Birmu a Semidolu při odstraňování železa může být příčinou jejich řídkého využívání v praxi. Při filtraci vody přes materiál Semidol se prokázalo zvýšení hodnoty pH ve vodě z původní hodnoty 7,56 na hodnotu 8,66, což podporuje tvrzení, že je tento materiál používán spíše pro odkyselování vody.

9 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] BIELA, Renata. *Úprava vody a balneotechnika*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 164 s. ISBN 80-214-2563-6.
- [2] SLAVÍČKOVÁ, Kateřina a Marek SLAVÍČEK. *Vodní hospodářství obcí 1: úprava a čištění vody*. Vyd. 1. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006, 194 s. ISBN 80-010-3534-4. *Ústav vodního hospodářství obcí* [online]. 2010 [cit. 2010-11-08]. Dostupné z WWW: <water.fce.vutbr.cz>.
- [3] TUHOVČÁK, Ladislav, et al. *Vodárenství: Studijní opory*. 1. vydání. Brno: VUT FAST, 2006. 252 s.
- [4] *Interní dokument společnosti BKG - úprava vody, s.r.o.*
- [5] GRÜNWALD, Alexander. *Zdravotně inženýrské stavby 40. Úprava vody: Úprava vody*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1997, 103 s. ISBN 80-010-1658-7.
- [6] *AQUACON: Komponenty k úpravám vody* [online]. [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: <http://www.aquacon.cz/komponenty-k-upravnam-vody/odkyselovaci-napln-semidol-k2-25kg.html>
- [7] *KOWA SPOL S.R.O.: Filtrační hmoty a chemikálie pro úpravu vody* [online]. [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: <http://www.kowa.cz/komponenty-pro-upravu-vody/filtracni-hmoty-a-chemikalie/polovypaleny-dolomit-semidol>
- [8] PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. 4. aktualiz. vyd. Praha: VŠCHT, 2009, viii, 579 s. ISBN 978-80-7080-701-9.
- [9] SUKOVITÝ, Augustin a Peter VIŠŇOVSKÝ. *Vodárenství II: úprava a akumulace vody, zásobování průmyslu a zemědělství vodou*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1971, 349 s.
- [10] KORABÍK, Michal. Interní materiály Vodovody a kanalizace Vsetín, a.s.: Obnova jímání a technologického zařízení Prameniště Rožnov pod Radhoštěm. Vsetín. Dostupné také z: <http://www.smv.cz/res/archive/014/001723.pdf?seek=1429083254>
- [11] PILAŘ, Josef. *Zkušenosti projektanta ze zprovoznování rekonstrukce prameniště a úpravny vody Rožnov pod Radhoštěm*. Hranice, 5 s. Dostupné také z: <http://www.smv.cz/res/archive/014/001722.pdf?seek=1429083254>
- [12] *Interní dokumenty ÚV Vysoké Pole*.
- [13] *Interní dokumenty ÚV Pamětník*.
- [14] *AQUA Cleer.cz - Úpravny pitné vody* [online]. [cit. 2015-10-11]. Dostupné z: <http://www.aquacleer.cz/referencni-instalace/upravny-pitne-vody.html>
- [15] *Interní dokumenty VaK Jablonné nad Orlicí*.
- [16] FERRANTE, Margherita. G. OLIVERI CONTI. *Health Effects of Metals and Related substances in Drinking Water: Drinking Water Research Report Series*. 1. IWA Publishing, 2014. ISBN 9781840405971.
- [17] ARREDONDO, M. a M. T. NÚÑEZ. *Iron and copper metabolism: Molecular Aspects of Medicine*. 2005.

- [18] FRAGA, C. G. *Relevance, essentiality and toxicity of trace elements in human health: Molecular Aspects of Medicine*. 2005.
- [19] BOWMAN, B.A. a R.M. RUSSELL. *Present knowledge in nutrition*. 9th ed. 2006.
- [20] RYAN, A.S. Iron-deficiency anemia in infant development: Implications for growth, cognitive development, resistance to infection, and iron supplementation. *American Journal of Physical Anthropology*. 1997.
- [21] MITCHELL, E., S. FRISBIE a B. SARKAR. Exposure to multiple metals from groundwater a global crisis: Geology, climate change, health effects, testing, and mitigation. *Metallomics*. 2011.
- [22] *Guidelines for drinking-water quality*. 4th ed. Geneva: World Health Organization, c2011, xxiii, 541 p. ISBN 9789241548151.
- [23] LJUNG, K. a M. VAHTER. Time to Re-evaluate the Guideline Value for Manganese in Drinking Water? *Environ Health Perspect*. 2007.
- [24] US.EPA. *Drinking Water Health Advisory for Manganese: U.S.Environmental Protection Agency*. January,2004.
- [25] BOUCHARD, M.F., S. SAUVÉ, B. BARBEAU, M. LEGRAND, M.É. BRODEUR, T. BOUFFARD, E. LIMOGES, D.C. BELLINGER a D. MERGLER. Intellectual Impairment in School-Age Children Exposed to Manganese from Drinking Water. *Environ Health Perspect*. 2011.
- [26] CROSSGROVE, J. a W. ZHENG. Manganese toxicity upon overexposure. *NMR in Biomedicine*. 2004.
- [27] *Culligan: Cullsorb M - Technical Sheet*. CULLIGAN ITALIANA S.p.A.

SEZNAM TABULEK

Tab. 5.1 Fyzikální vlastnosti materiálu Birm [4]	20
Tab. 5.2 Provozní podmínky materiálu Birm [4]	20
Tab. 5.3 Fyzikální vlastnosti materiálu Greensand Plus [4]	21
Tab. 5.4 Provozní podmínky materiálu Greensand Plus [4]	21
Tab. 5.5 Fyzikální a chemické vlastnosti a provozní podmínky materiálu Semidol [7].....	23
Tab. 5.6 Fyzikální a chemické vlastnosti materiálu Cullsorb M [27]	23
Tab. 6.1 Technické parametry filtru na ÚV Vysoké pole [12]	30
Tab. 6.2 Koncentrace Fe a Mn v surové vodě a upravené vodě [12].....	31
Tab. 6.3 Vlastnosti surové vody na ÚV Pamětník [13]	32
Tab. 6.4 Koncentrace železa a manganu v surové a upravené vodě na ÚV Pamětník [13].....	34
Tab. 7.1 Parametry kolony	46
Tab. 7.2 Průtoky dle doby zdržení	47
Tab. 7.3 Výsledky rozboru pro surovou vodu.....	55
Tab. 7.4 Výsledky rozboru pro materiál Birm	56
Tab. 7.5 Výsledky rozboru pro materiál Greensand	56
Tab. 7.6 Výsledky rozboru pro materiál Semidol	56

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 5.1 Kaskáda [9]	12
Obr. 5.2 Provozdušňovací věž [zdroj: Ilona Ševčíková].....	13
Obr. 5.3 Tryskové provozdušňovací zařízení [zdroj: Ilona Ševčíková].....	14
Obr. 5.4 Skrápěný filtr [3]	14
Obr. 5.5 Tlakové provozdušňovací zařízení [3]	15
Obr. 5.6 Zařízení INKA v ŽB provedení [3].....	16
Obr. 5.7 Horizontální difuzorové provozdušňovací zařízení [3]	16
Obr. 5.8 Trubkový ozonizátor [2]	17
Obr. 5.9 Odželezování vody ozonem [5]	18
Obr. 5.10 Birm [zdroj: Ilona Ševčíková].....	20
Obr. 5.11 Greensand Plus [zdroj: Ilona Ševčíková].....	21
Obr. 5.12 Semidol [zdroj: Ilona Ševčíková]	22
Obr. 5.13 Schéma okruhu Vyredox [1]	25
Obr. 6.1 Úpravna vody Vysoké Pole [zdroj: Ilona Ševčíková].....	28
Obr. 6.2 Tlakový filtr s materiálem Greensand na ÚV Vysoké Pole [zdroj: Ilona Ševčíková].....	28
Obr. 6.3 Schéma tlakové filtrace na ÚV Vysoké Pole [12]	29
Obr. 6.4 Schéma zapojení filtru na ÚV Vysoké Pole [12].....	29
Obr. 6.5 Tlakový filtr s filtračním materiálem Greensand na ÚV Pamětník [13].....	33
Obr. 6.6 Technologické schéma na ÚV Pamětník [13].....	33
Obr. 6.7 Úpravna vody Sudslava [zdroj: Ilona Ševčíková].....	36
Obr. 6.8 Pohled na technologii ÚV Sudslava – vpravo osazen filtr s materiálem Birm [zdroj: Ilona Ševčíková].....	37
Obr. 6.9 Situační schéma nové technologie na ÚV Sudslava [15]	38
Obr. 7.1 Schéma zapojení filtračního zařízení [zdroj: Ilona Ševčíková]	41
Obr. 7.2 Zapojení filtračního zařízení během experimentu [zdroj: Ilona Ševčíková].....	42
Obr. 7.3 Příprava roztoku manganistanu draselného [zdroj: Ilona Ševčíková]	43
Obr. 7.4 Napouštění manganistanu draselného do filtrační kolony [zdroj: Ilona Ševčíková] ..	44
Obr. 7.5 Regenerace Greensandu manganistanem draselným [zdroj: Ilona Ševčíková]	45
Obr. 7.6 Koncentráty železa a manganu k výrobě modelové vody [zdroj: Ilona Ševčíková]..	48
Obr. 7.7 Odebírání vzorků upravené vody [zdroj: Ilona Ševčíková]	49
Obr. 7.8 Odebrané vzorky upravené vody [zdroj: Ilona Ševčíková]	50
Obr. 7.9 Pipeta používaná k dávkování chemikálií [zdroj: Ilona Ševčíková].....	51
Obr. 7.10 pH metr s vestavěným teploměrem [zdroj: Ilona Ševčíková].....	51

Obr. 7.11 Turbidimetr – měření zákalu [zdroj: Ilona Ševčíková]	52
Obr. 7.12 Spektrofotometr – měření koncentrace Fe a Mn [zdroj: Ilona Ševčíková].....	53
Obr. 7.13 Testy pro určení koncentrace Fe ve vodě [zdroj: Ilona Ševčíková].....	54
Obr. 7.14 Měření koncentrace železa ve vodě (vlevo kyveta s reaktantem, vpravo nulovací kyveta) [zdroj: Ilona Ševčíková]	54
Obr. 7.15 Měření koncentrace manganu ve vodě [zdroj: Ilona Ševčíková].....	55
Obr. 7.16 Účinnost filtračních materiálů při odstraňování železa [zdroj: Ilona Ševčíková]....	57
Obr. 7.17 Účinnost filtračních materiálů při odstraňování manganu [zdroj: Ilona Ševčíková]	57

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

např. ... například

RDA ... recommended dietary allowance (doporučovaná dávka)

HFE ... označení genu

WHO ... World Health Organization (Světová zdravotnická organizace)

PMTDI ... Provisional maximum tolerable daily intake (prozatímní maximální tolerovatelný denní příjem)

JECFA ... Joint Expert Committee on Food Additives (Výbor odborníků pro přídavné látky v potravinářském průmyslu)

EU ... Evropská unie

ATP ... adenosintrifosfát

SOD ... superoxiddimustáza

IUGR ... intrauterine growth retardation (růstová retardace plodu)

AI ... adequate intake (přiměřená hodnota)

PD ... Parkinson's disease (Parkinsonova choroba)

ES ... Evropská směrnice

RfD... referenční dávka

TDI ... tolerable daily intake (tolerovatelný denní příjem)

PP ... polypropylen

pH ... záporný logaritmus molární koncentrace vodíkových iontů [-]

UFP ... automatické filtry s aktivovanou náplní pro odstranění železa a manganu

ÚV... úpravna vody

GAU ... granulované aktivní uhlí

PLC ... Programmable Logic Controller (programovatelný logický automat)

DN ... jmenovitá světlost

PVC ... polyvinylchlorid

PVD ... polovypálený dolomit

VUT ... Vysoké učení technické

Sb. ... Sbírky

č. ... číslo

SUMMARY

The thesis describes the sources and forms of iron and manganese in water, their health limits and possibilities removal of iron and manganese from water. The most common ways to remove iron and manganese from water are aeration, alkalization, oxidation, removal of iron and manganese in the rock environment, ion exchange, biological way, coagulation and contact filtration.

Contact filtration is performed on sand which is prepared by higher manganese oxides. There are absorbed ions Mn^{2+} , Fe^{2+} , heavy metals, radioactive substances or ammonium ions on the prepared sands. There are a lot of types of materials which are used for contact filtration. For example for removing iron and manganese from water are often used Birm, Greensand, Semidol and Cullsorb M.

According to the suppliers of these materials the most common material is Greensand. This material is used for example on Vysoké Pole, Pamětník, Třtice, Řitka, Věžnice treatment plants. Material Birm is not as known and common as Greensand. But it's used for example on Sudslava water treatment plant. Semidol is not used for removing iron and manganese, but it is used for deacidification and remineralization. These three materials are used at small water treatment plants. Culligan CZ company says that Cullsorb M is very perspective material.

As a part of this diploma thesis there was performed experimental removing iron and manganese from water. The aim of the experimental measurements was assessing the effectiveness of various filtration materials (Greensand, Birm and Semidol). The most effective was Greensand. This material removed both elements (iron and manganese) very well. Concentration was lower than concentration given by edict 252/2004 Sb. Birm and Semidol were very effective in removing manganese. In removing iron these two materials were worse than Greensand. This may be the reason why these two materials are not used as often as Greensand for removing iron and manganese from water. In case of water filtration through Semidol there was apparent pH increase. This supports the contention that Semidol is used for deacidification water.